

Efecto, en el corto plazo, de la porcina en suelos.
Estudio de caso desde diseño de experimentos en
algunos municipios de Valle y Antioquia.

Presentado por:
Diana Maria Ruiz Ramirez,
Gregorio Salomon Zambrano Moreno.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Fundación Universitaria Los Libertadores
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas
Especialización en Estadística Aplicada
Bogotá D.C, Colombia
2018

Efecto, en el corto plazo, de la porcinaza en suelos.
Estudio de caso desde diseño de experimentos en algunos
municipios de Valle y Antioquia.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Presentado por:
Diana Maria Ruiz Ramirez,
Gregorio Salomon Zambrano Moreno.

En cumplimiento parcial de los requerimientos para optar al título
de

Especialista en Estadística Aplicada

Dirigida por
Lida Rubiela
Fonseca Gómez

Fundación Universitaria Los Libertadores
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas
Especialización en Estadística Aplicada
Bogotá D.C, Colombia

2018

Notas de
aceptación



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Firma del presidente del
jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D, C. Junio de 2018



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Las directivas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores y a los resultados de su trabajo.

Dedicatoria



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Gracias a Dios por permitirnos culminar otro escalón en la vida profesional

Agradecimientos



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Agradecemos a Porkcolombia por permitirnos usar la información del estudio con el propósito de culminar el proyecto de especialización.

Índice general

1.	Introducción.....	11
2.	Planteamiento del Problema.....	13
2.1.1	Contexto de la investigación.....	13
2.1.2	Problema de Investigación.....	15
2.2	Objetivos.....	20
2.2.1	Objetivo General.....	20
2.2.2	Objetivos Específicos.....	20
2.3	Justificación.....	21
3.	Marco Teórico / conceptual.....	22
3.1	Porcinaza.....	22
3.2	Fertilización sostenible.....	22
3.3	El suelo y sus propiedades:.....	23
3.3.1	Principales propiedades físicas del suelo.....	23
3.3.2	Principales propiedades químicas del suelo.....	25
4.	Marco Metodológico.....	29
4.1	Diseño del Experimento.....	29
4.1.1	Factores:.....	29
4.2	Desarrollo del Experimento:.....	30
4.2.1	Tipo de muestreo.....	30
4.2.2	Recolección de datos.....	31
4.2.3	Principios del diseño de experimento.....	32
5.	Análisis y Resultados.....	33
5.1	Descripción de la técnica.....	33
5.1.2	Modelo estadístico con cuatro factores:.....	33
5.2	Pruebas paramétricas.....	34
5.3	Descripción de los datos.....	35
5.4	Análisis de datos.....	37
5.4.2	Densidad aparente.....	37
5.4.3	Humedad relativa:.....	41
5.4.4	Nitrato:.....	47
5.4.5	Fosforo.....	52
5.4.6	Potasio.....	54
5.4.7	Materia orgánica.....	56
6	Conclusiones y Recomendaciones.....	58

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Consumo per cápita de carne de cerdo en Colombia	13
Gráfico 2. Mapa distribución de Porcinos en Colombia 2017.....	14
Gráfico 3. Métodos de extracción de submuestras de suelo.	30
Gráfico 4. Correlación de las variables.....	37
Gráfico 5. Box-plot Densidad vs Tratamiento por nivel de profundidad	38
Gráfico 6. Interacción Densidad, Tratamiento y nivel de profundidad	38
Gráfico 7. Box-plot Densidad vs Tratamiento por Departamento.....	39
Gráfico 8. Interacción Densidad, Tratamiento y departamento.....	39
Gráfico 9. Diagrama de caja de los tratamientos en cada finca.....	40
Gráfico 10. Gráfico de dispersión e histograma de los errores.....	41
Gráfico 11. Box-plot Humedad vs Tratamiento por nivel de profundidad.....	42
Gráfico 12. Interacción Humedad, Tratamiento y nivel de profundidad.....	42
Gráfico 13. Box-plot Humedad vs Tratamiento por departamento	43
Gráfico 14. Interacción Humedad, Tratamiento y departamento	44
Gráfico 15. Diagrama de caja de los tratamientos en cada finca.....	45
Gráfico 16. Relación humedad materia organica y densidad aparente.....	46
Gráfico 17. Gráfico de dispersión e histograma de los errores.....	47
Gráfico 18. Box-plot Nitrato vs Tratamiento por nivel de profundidad	48
Gráfico 19. Interacción Nitrato, Tratamiento y nivel de profundidad	48
Gráfico 20. Box-plot Nitrato vs Tratamiento por departamento	49
Gráfico 21. Interacción Nitrato, Tratamiento y departamento	49
Gráfico 20. Relación nitrato, materia orgánica y fósforo	50
Gráfico 23. Diagrama de caja de los tratamientos en cada finca.....	51
Gráfico 24. Gráfico de dispersión e histograma de los errores.....	52
Gráfico 25. Box-plot Fósforo vs Tratamiento por nivel de profundidad.....	53
Gráfico 26. Box-plot Fosforo vs Tratamiento por departamento	54
Gráfico 27. Box-plot Potasio vs Tratamiento por nivel de profundidad	55
Gráfico 28. Box-plot Potasio vs Tratamiento por departamento	55
Gráfico 29. Box-plot Materia orgánica vs Tratamiento por nivel de profundidad	56
Gráfico 30. Box-plot Materia orgánica vs Tratamiento por departamento	57

—

Índice de tablas

Tabla 1. Producción de Excretas porcinas	15
Tabla 2. Tipo de suelo y sus principales características	24
Tabla 3. Clasificación de los suelos según la presencia de fosforo	26
Tabla 4. Clasificación de los suelos la presencia de potasio.	26
Tabla 5. Clasificación de los suelos según su pH y su influencia en la solubilidad de nutrientes en el suelo mineral y un sustrato orgánico.....	27
Tabla 6. Clasificación de los suelos según su conductividad eléctrica.....	27
Tabla 7. Clasificación de los suelos según la materia orgánica.....	28
Tabla 8. Textura de los suelos analizados	36
Tabla 9. Media de la densidad aparente por nivel y departamento	37
Tabla 10. Anova del modelo factorial	40
Tabla 11. Media de la humedad por nivel y departamento.....	41
Tabla 12. Anova del modelo factorial	46
Tabla 13. Media del nitrato por nivel y departamento	47
Tabla 14. Anova del modelo factorial	51
Tabla 15. Media del Fósforo por nivel y departamento.....	53
Tabla 16. Media del Potasio por nivel y departamento	54
Tabla 17. Media del Materia orgánica por nivel y departamento.....	56

Efecto, en el corto plazo, de la porcinaza en suelos. Estudio de caso desde diseño de experimentos en algunos municipios de Valle y Antioquia.

Resumen

Este trabajo tiene el objetivo de analizar en el corto plazo los efectos de la aplicación de la porcinaza como fertilizante en los suelos de algunos municipios de los departamentos de Antioquía y Valle del Cauca. Para esto se realizó un diseño experimental usando un análisis factorial paramétrico y un análisis no paramétrico con el test Kruskal - Wallis. El experimento consta de los siguientes tratamientos: SNF (Suelo no fertilizado), SSF1 (Fertilizados con porcinaza 2 meses después de la aplicación), SSF2 (Fertilizados con porcinaza 4 meses después de la aplicación). Se tomaron muestras en seis fincas experimentales, tres en cada uno de los departamentos de análisis. Las muestras se tomaron a dos niveles de profundidad, la primera de 0 a 5 cm y la segunda de 5 a 30 cm. Teniendo un total de 108 réplicas para el experimento. Con la aplicación de la porcinaza como fertilizante se encontraron diferencias significativas en variables como el nitrógeno y el fósforo, pasando de 18,16 (ppm) partes por millón a 29,16 (ppm) a un nivel de profundidad de 0 a 5 cm y de 14.22 (ppm) a 20.02 (ppm) a un nivel de profundidad de 5 a 30 cm en el caso del nitrógeno, mostrando una evidencia de cambio significativo. Para el fósforo se encontró un cambio de 236.06 (ppm) a 314.83 (ppm) a un nivel de profundidad de 0 a 5 cm y de 67.86 (ppm) a 167.58 (ppm) a un nivel de profundidad de 5 a 30 cm. Las variables anteriores se consideran como macro nutrientes que ayudan al crecimiento de las plantas. Se concluye que la fertilización con porcinaza si tiene efectos en las características químicas como físicas del suelo.

Palabras claves: Porcinaza, Análisis factorial, macro nutrientes.

Capítulo 1

1. Introducción

Desde los años 90 en Colombia, los consumidores han realizado cambios en sus hábitos de alimentación. Hoy en día la carne cerdo es considerada como uno de los mejores alimentos por su bajo contenido de grasas y alto valor nutricional (Porkcolombia, 2016).

En consecuencia del aumento de la demanda de la carne de cerdo, el sector porcícola se encuentra en un gran crecimiento, y consigo el problema de la disposición sanitaria de los desechos porcinos (Valencia et al, 2010). Dado que aproximadamente dos tercios de los alimentos que se dan a los cerdos se convierten en excretas (Valencia et al, 2010). Se puede convertir en un gran problema en este sector si no se muestran diferentes alternativas para su uso.

En aras de ofrecer una alternativa para el uso de la porcinaza se realizó esta investigación, que tiene como objetivo analizar en el corto plazo los efectos de la aplicación de la porcinaza como fertilizante en los suelos de algunos municipios de los departamentos de Antioquía y Valle del cauca, en dos profundidades. Para ello, se realizó un diseño experimental usando un análisis factorial paramétrico para las variables que tengan comportamiento normal en sus errores y un análisis no paramétrico con el test Kruskal – Wallis para las variables que no cumplan la condición de normalidad en los errores. El primer tratamiento consta de tomar la muestra de suelo sin la aplicación de la porcinaza. El segundo tratamiento fue aplicar la porcinaza y dos meses después tomar una muestra del suelo. El tratamiento final consiste en tomar la muestra cuatro meses después de la aplicación de la porcinaza. Las muestras fueron tomadas en una misma hectárea en las fincas experimentales.

Se obtuvieron tres replicas a dos profundidades de suelo, para los tres tratamientos. El experimento se realizó en seis fincas, ubicadas en Antioquia y Valle del cauca, tres respectivamente en cada departamento. Dando un total de 108 observaciones para el experimento. La unidad de análisis experimental es el suelo de las fincas, de donde se recogieron las muestras obteniendo las características físicas – químicas de cada suelo.

Este trabajo se presenta con una estructura de artículo en el cual se inicia con la introducción como primera sección del documento. La segunda sección muestra el contexto de la investigación en donde se visualiza el crecimiento de la porcicultura en Colombia y se conecta con la tercera sección donde se relaciona con la problemática que trae consigo el crecimiento del sector porcícola. Se continúa con la cuarta sección

donde se dan unas definiciones claves para el lector. Finalmente en las últimas secciones se tiene el desarrollo experimental, resultados y conclusiones del documento.

Capítulo 2

2. Planteamiento del Problema

2.1.1 Contexto de la investigación

En los últimos años el consumo per cápita de la carne de cerdo en Colombia está alrededor de los 9,3 kilogramos por persona en el año 2017, ocupando los primeros puestos en preferencia entre los consumidores (PorkColombia, 2016). El valor nutricional de la carne de cerdo se considera como uno de los alimentos más completos para solventar las necesidades del hombre y su consumo puede contribuir en alguna medida a mejorar la calidad de vida humana (Villarino, 2004). La Asociación Colombiana de Porcicultores (2008), encontró que cerca de cien (100) gramos de consumo de cerdo logran cubrir la ingesta al día de 6% de magnesio, 15% de zinc, 11% de potasio y 7% de hierro.

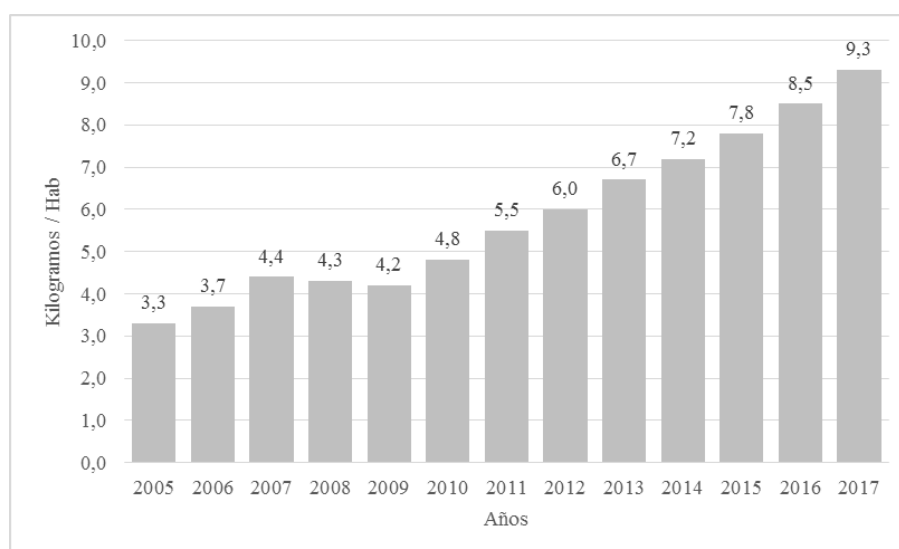


Gráfico 1. Consumo per cápita de carne de cerdo en Colombia

Fuente: Análisis de coyuntura del sector porcicultor año 2016 (PorkColombia, 2016).

En Colombia según los datos del Fondo Nacional de la Porcicultura (2016), existen alrededor de 4.069.690 cabezas de Beneficio porcino para el 2016. Concentradas en los departamentos de Antioquia con un 45%, seguida de Bogotá D, C en 21,2% y Valle del Cauca en 16%. Por lo anterior, se puede inferir que la porcicultura en Colombia juega un papel fundamental en el crecimiento económico del país y en especial del sector

Agropecuario. Presentando tasas de crecimiento promedio anual en los dos últimos años del 12,4% (PorkColombia, 2016), convirtiéndose en una fuente de empleo e ingresos en los productores.

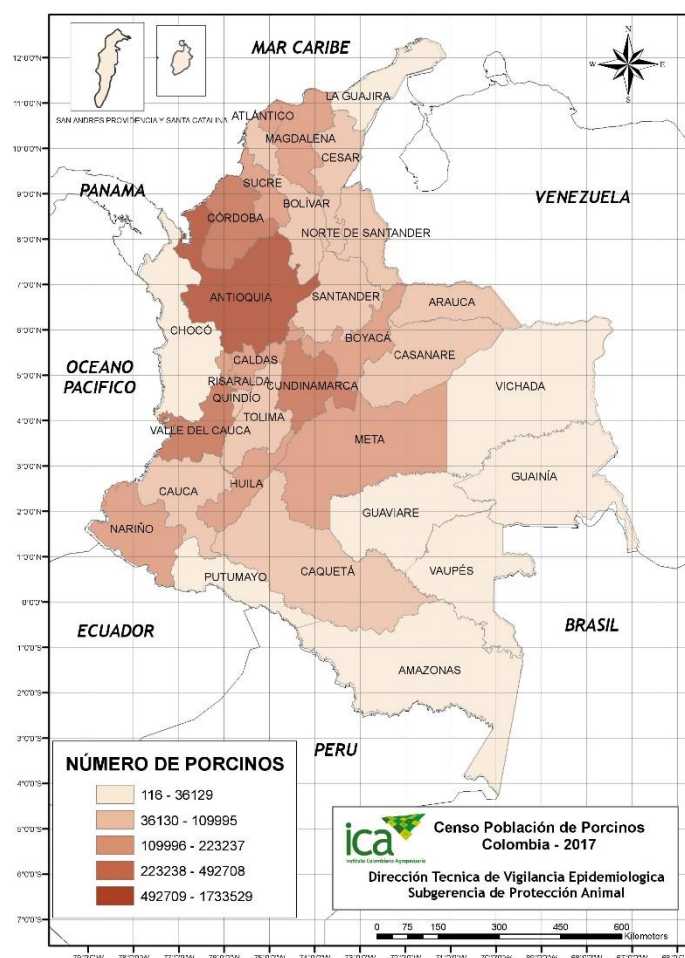


Gráfico 2. Mapa distribución de Porcinos en Colombia 2017.
Fuente: Censo Población de Porcinos Colombia 2017 (ICA, 2017).

Según la SAC (2015), el PIB agropecuario en el año 2015 creció en un 2,9% en comparación del periodo 2014, donde se atribuye al comportamiento de la porcicultura en un 11,8% y la producción cafetera en un 11,5%. Esto indica que la porcicultura es una de las principales fuentes de crecimiento económico en el sector agropecuario. En el caso de los productores traspatio se estima con el Censo Nacional pecuario del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016, que existen alrededor de 117.107 predios traspatio que albergan cerca de 1.452.822 cerdos.

2.1.2 Problema de Investigación

En los últimos años en Colombia la producción porcícola se ha incrementado incentivada por el aumento del consumo per cápita de carne de cerdo (Gráfico 1), y con esta la producción de excretas. Estudios como los de Perez (2002) estiman que por cada 70 kilogramos de peso en vivo en granja se producen entre 4 a 5 gramos de excreta, lo cual puede generar la contaminación de fuentes hídricas, la cual puede variar de acuerdo al estado fisiológico de los animales, al tipo de alimentación utilizada, a la cantidad de agua usada, de si se hace separación de sólidos o no y del manejo dado a los residuos.

Item	Núm de animales año 2010	Peso prom en Kg.	Producción de estiércol animal / día	Producción de estiércol / día	Peso vivo Kg.
Hembras gestantes	82.060	180	5,4	443.124	14.770.800
Hembras lactantes	14.290	190	14,7	210.063	2.715.100
Hembras vacías (destetas)	4.760	160	6,91	32.892	761.600
Lechones lactantes	142.800	3,5	0,3	42.840	499.800
Lechones en precebo	333.200	16	1,22	406.504	5.331.200
Levante ceba	571.200	58	3,6	2.056.320	33.129.600
Reproductores	1.200	200	7,4	8.880	240.000
Total	1.149.510			3.200.623	57.448.100

Tabla 1. Producción de Excretas porcinas

Fuente: (Gonzalez, 2012)

Lo anterior significa que los porcicultores tienen dos opciones, la primera considerar el excremento como residuo y la fracción líquida tratarla antes de su vertimiento, cumpliendo con lo contemplado en el decreto 3930 de octubre del 2010 del Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia y los decretos reglamentarios, y la segunda, obtener subproductos como el Biogas o la producción de porcinaza, tanto en forma sólida como líquida, para fertilización de suelos y la alimentación de ganado. Lo que es innegable, es que no es posible una producción porcina que no genere estiércol. “El estiércol es un hecho; está allí, y lo menos costoso para manejarlo es la fertilización de tierras” (Moser, 1995).

Ahora bien, en Colombia la producción pecuaria, en la mayoría de las unidades productivas, está asociada con la actividad agrícola, la cual está condicionada directamente por las características físico-químicas de los suelos en donde se pretenda desarrollar la actividad. Colombia, por su ubicación geográfica, presenta unas condiciones climáticas especiales que han generado procesos intensos de alteración de los minerales primarios del material parental y de mineralización de la materia orgánica, así como de lavado (lixiviación) intensos de todo aquello que es soluble en agua. Estos procesos producen una disminución en el pH y una acidificación intensa, lo cual se combina para producir unos suelos de baja fertilidad, en el sentido de la nutrición de la

planta.

Esta limitante, de baja fertilidad, es común en la mayor parte de los suelos del territorio nacional, la cual se manifiesta, como ya se mencionó, en condiciones de alta acidez, con altos contenidos de Aluminio (AL) intercambiable; bajo contenido de elementos nutricionales para las plantas como Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg); baja capacidad de suministrar nutrientes como Nitrógeno (N) y Azufre (S) debido a la presencia de bajos contenidos y/o a la mala calidad de la materia orgánica que se ha acumulado en ellos; presencia de altos contenidos de materiales coloidales inorgánicos de baja actividad en la fracción arcilla (arcillas LAC).

De acuerdo con el IGAC (Como se cita en Jaramillo, 2004), aproximadamente en el 85% del territorio nacional los suelos tienen valores de pH menores a 5.5 y el 57.6% tiene $\text{pH} < 5$. Además, en la Amazonia, la Orinoquia, el Andén Pacífico, el Valle del Magdalena y las islas del Caribe predominan los contenidos bajos de materia orgánica (entre 1 y 1.5% de carbono orgánico), en la región Caribe el contenido de carbono orgánico está entre 0.5 y 1% y en la Guajira es menor de 0.5%, es decir que, en el 73.11% del país los suelos presentan deficiencia en el contenido de materia orgánica. En los suelos del 98% del país se presenta deficiencia de fósforo para las plantas. En las regiones Guajira, Caribe y Valle del Cauca se encuentran amplias áreas con suelos afectados por sales y/o por sodio, además de limitaciones de carácter físico para el uso del suelo, relacionadas con la presencia de propiedades vértices, de horizontes endurecidos, de deterioro estructural y de alta susceptibilidad a la erosión.

Por tanto, la porcinaza resulta ser no solo una forma de manejo de la excretas porcinas sino un alternativa para la fertilización de los suelos colombianos, dado que estudios revelan que incrementa notablemente la fertilidad química al aportar Nitrógeno, Fosforo, Potasio y otros nutrientes importantes, además de mejorar las propiedades físicas y especialmente las biológicas, aumentando así la capacidad de crecimiento y desarrollo en las plantaciones agrícolas.

En este sentido, es importante revisar los estudios que se han realizado en torno al manejo de las excretas de los cerdos, sea como residuo o como subproducto, los cuales se ha centrado en:

- El uso de la porcinaza como fertilizante de suelos y cultivos: En este proyecto se determinó la cantidad de porcinaza a usar de acuerdo a la cantidad de nutrientes que necesita el suelo para tener las condiciones óptimas de fertilización. Como producto de la investigación se determinó que la porcinaza tiene un alto valor de fertilización, sin embargo, se debe tener en cuenta que esta no se debe aplicar sin antes haber hecho análisis en los suelos y conocer el déficit de nutrientes de los suelos a tratar de esta forma evita el exceso de nutrientes y

un problema de contaminación de las aguas subterráneas de los suelos (Osorio, 2012).

- Utilización de porquinaza en dos niveles de inclusión, como suplemento alimenticio en la etapa de finalización en el periodo de engorde de ovinos. El objetivo del proyecto fue estudiar la factibilidad de alimentar ovinos con porcinaza, durante la finalización del periodo de engorde. (Parra, Martínez, & Rincón, 2007).
- Caracterización de los residuos sólidos de efluentes de granjas porcinas y su utilización en vacunos de ceba en confinamiento. El objetivo del proyecto fue conocer los efectos que tiene la porcinaza como adición del alimento para vacunos confinados. (Rojas & Ojeda, 2002).
- Ensilaje de caña de azúcar integral enriquecido con porcinaza fresca. El propósito del estudio fue evaluar estrategias de incorporación de porcinaza en ensilajes de caña de azúcar integral molida (CAIM), para alimentación de bovinos. (Estrada, Aranda, Pichard, & Henao, 2013).
- Fermentación en estado sólido, una alternativa biotecnológica para la producción de alimentos no convencionales en cerdos. En esta investigación las excretas de cerdo son mezclados con caña de azúcar, maíz, trigo, yuca, boniato, plátano, afrechos, residuales de molinería de arroz, malta, pulpas de frutas, granos, leguminosas, entre otras para la producción de alimento. (Borras Sandoval, Iglesias, & Rodríguez Molano, 2014).
- Biodigestor de doble propósito para residuos de granja porcícola. En este proyecto se diseña y se pone en operación un sistema de biodigestor con el fin de procesar los residuos de una granja porcícola. (UIS, 2006).
- Efecto de la aplicación agrícola de la excreta porcina en la calidad del agua subterránea. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos en la calidad del agua, de la aplicación del estiércol de porcinos en el cultivo de la papaya. Este estudio se realizó en el Estado de Yucatán y los resultados mostraron incrementos en el contenido de nitrógeno de nitratos, en la densidad de coliformes y en la riqueza específica de enterobacterias. (Pacheco, 2002).
- Evaluación del manejo que se le da a las excretas porcinas en la Hacienda La Montaña. En este proyecto se realizó un estudio descriptivo de la producción porcina en la Hacienda La Montaña situada en el municipio de San Pedro de los

Milagros, mediante la observación.(Correa, Muñetón, Orozco, Puerta & Davidson, 2011).

- Implementación de un sistema auto sostenible en la granja Agropecuaria del municipio de Cogua para el tratamiento de los Vertimientos líquidos porcícolas. (Universidad Nacional, 2003).

Como se puede evidenciar, aunque se ha realizado investigación en el uso de los excrementos como subproducto, específicamente en la producción de porcinaza como fertilizante, los estudios respecto del contexto colombiano, es decir, teniendo en cuenta características como el clima, el tipo de suelo, la forma de aplicación, etc, son escasos. Se resalta los esfuerzos del profesor Walter Osorio de la Universidad Nacional de Medellín, quien como se menciona ha realizado estudios acerca de los efectos, en el largo plazo (10 años), de la porcinaza como fertilizante para la producción de pastos para rumiantes, tales como el kikuyo (Proyecto No 1). Sin embargo, se desconocen los efectos de corto plazo de la aplicación de porcinaza a diferentes profundidades del suelo.

En este sentido, se planteó un experimento que permitiera analizar los efectos a corto plazo (4 meses) de la aplicación de la porcinaza, como fertilizante, sobre las características físicas químicas del suelo, en dos profundidades, en seis fincas de Antioquia y Valle del Cauca, principales productores de porcinos del país. A través de este experimento se espera evidenciar que en un tiempo no mayor a 4 meses, la aplicación de porcinaza genera cambios positivos en las características fisicoquímicas del suelo, tanto a nivel superficial como a mayores profundidades, haciéndolos suelos más fértiles.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

- Analizar en el corto plazo los efectos de la aplicación de porcinaza como fertilizante en los suelos de algunos municipios de los departamentos de Antioquia y Valle del Cauca, en dos profundidades.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Establecer las características físicas y químicas más importantes del suelo que mejor comportamiento presentan tras la aplicación de la porcinaza.
- Identificar las principales diferencias en los efectos de la porcinaza en relación a la profundidad del suelo y a la ubicación de las fincas.

2.3 Justificación

Colombia y el sector porcícola tienen el reto de responder eficientemente a las nuevas dinámicas de la economía, enfrentarse a mercados cada vez más abiertos y competitivos y a la búsqueda continua del libre intercambio. En este sentido, resulta de gran importancia comprender como el uso de la porcínaza tiene efectos en el suelo con la finalidad de hacer uso de esta como un fertilizante amigable con el medio ambiente, y viable de manera económica por parte de los porcicultores Colombianos.

Capítulo 3

3. Marco Teórico / conceptual

3.1 Porcinaza

La porcinaza es un biofertilizante con grandes propiedades como fuente de nutrientes en diversos cultivos, está formada por heces fecales y orina, mezcladas con el material utilizado como cama, residuos de alimento, polvo, otras partículas y además de una cantidad variable de agua proveniente de las labores de lavado.

La porcinaza está compuesta por orina y heces, la primera, representa aproximadamente el 45 % de la excreta, y la segunda el 55% de la misma. Asimismo, el contenido de humedad está entre el 88% y 90%; el contenido de materia seca oscila entre el 10% y 12%. Entre tanto, los sólidos representan un 90% de las heces y un 10% de la orina. Respecto al pH, mientras más frescas sean las excretas, más neutro será el mismo y podrá variar entre 6 y 8; (ACP, CORANTIOQUIA & CORNARE, 1996). Por otra parte, la temperatura de la excreta fresca al momento de su expulsión es la misma que la del cuerpo del cerdo, posteriormente alcanza la temperatura del piso de la instalación y finalmente la temperatura de la misma estará determinada por el agua con la cual se mezcla. De otro lado, la alcalinidad y conductividad eléctrica son propiedades más del agua de lavado y de bebida que propiamente de la excreta (ACP et al., 1996).

3.2 Fertilización sostenible

La fertilización consiste en aplicar al suelo los elementos nutritivos que necesita la planta, incorporados de forma directamente, o disueltos en el agua de riego. La fertilización provee los nutrientes suficientes y en las proporciones adecuadas para un desarrollo, diferenciación y maduración óptima del cultivo, y por tanto debe ser diferenciada para cada cultivo y etapa de desarrollo.

La agricultura cada día exige más reutilizar al máximo los recursos naturales de la finca, dándole un especial énfasis a la fertilidad del suelo (FAO, 2003). Según Borges, la apertura de los mercados ha permitido avances significativos en la producción de alimentos con alta calidad e inocuidad a partir de insumos que buscan preservar la salud del ser humano y ser amigables con el medio ambiente.

Como señala Bejarano y Restrepo (2002), la revolución verde en los años 80 introdujo una serie de recomendaciones tecnológica sobre el uso de agroquímicos en fertilizantes, generando una pérdida de la agricultura tradicional. El uso de agroquímicos y plaguicidas de síntesis química pueden generar efectos nocivos en la salud del ser humano tales como enfermedades respiratorias y cardiovasculares, infecciones y salpicaduras en la piel, hasta enfermedades crónicas como el cáncer (Riccioppo, 2011).

El uso de abonos orgánicos puede generar una serie de ventajas como lo señala el ICA (2015) entre las cuales se tiene; mejorar las características biológicas y químicas del suelo, generar una independencia del uso de insumos externos de la finca, aporta capacidad de retención del agua del suelo y finalmente, preserva la vida, salud del suelo.

3.3 El suelo y sus propiedades:

El suelo es un componente fundamental del ambiente, natural, finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y microorganismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones y prestando servicios ecosistémicos vitales para la sociedad y el planeta (MADS, 2015).

La calidad del suelo es variable y los suelos responden de forma distinta conforme las prácticas implementadas sobre él. Se incluyen los elementos de la calidad del suelo; las propiedades físicas, químicas y biológicas inherentes y dinámicas.

3.3.1 Principales propiedades físicas del suelo

La condición física de un suelo determina su capacidad de sostenimiento, facilidad para la penetración de raíces, circulación del aire, capacidad de almacenamiento de agua, drenaje, retención de nutrientes, entre otros. Las principales propiedades físicas que influyen en el desarrollo de los cultivos son las siguientes:

- **Textura**

Se refiere a la proporción relativa de los separados del suelo (arena, limo y arcilla) encontrada en una muestra de. Es una característica muy importante porque es relativamente estable, cambia muy poco con el tiempo e influye en el uso de suelo, principalmente en: el movimiento de agua y aire, en el manejo (preparación de suelo, retención de agua, frecuencia de irrigación), en la fertilización (contenido de Aluminio intercambiable y bases) y en determinar la génesis del suelo (horizonte argílico).

En lo que respecta a la textura, los suelos se pueden clasificar, en tres grupos importantes según su contenido en arcilla y a su capacidad de intercambio catiónico. (Ver tabla)

Tipo de suelo	% arcilla	Capacidad de intercambio catiónico (valores medios) (meq/100g)
Arenoso	< 10	10
Franco	10 - 30	15
Arcilloso	> 30	20

Suelo arcilloso (>30% arcilla)	Suelo franco (10-30% arcilla)	Suelo arenoso (<10% arcilla)
<ul style="list-style-type: none"> - Retienen el agua y los nutrientes con fuerza. - Suelos encharcados y mal aireados. - Difícil drenaje y labranza. - Apelmazamiento, formación de costras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adecuada retención de agua y nutrientes. - Buena aireación. - Buena penetración de raíces. - Se trabajan con poca resistencia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Retiene poca humedad y tienden a secarse. - Poseen baja fertilidad y necesitan aportes de elementos orgánicos e inorgánicos. - Buena aireación.

Tabla 2. Tipo de suelo y sus principales características
Fuente: (Andrade & Martínez, 2014)

• Densidad

La densidad aparente se define como la relación del peso del suelo seco con el volumen total del suelo, incluyendo el espacio vacío. Sus valores oscilan entre 0.66. y 1.81 g/cc. Los horizontes superficiales y los de textura arcillosa presentan los valores más bajos debido al mayor contenido de materia orgánica y a la mayor actividad biológica, en los primeros, y en los segundos a la abundancia de espacios intrapedales de las unidades estructurales.

La densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate.

• Humedad

La humedad del suelo hace referencia a la cantidad de agua por volumen de tierra, siendo una de las características más importantes para explicar el comportamiento del suelo (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo el cambio de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

3.3.2 Principales propiedades químicas del suelo

Los nutrientes que puede tomar la planta del suelo, se dividen en dos categorías: a) macronutrientes, divididos en nutrientes primarios y secundarios; y b) micronutrientes o microelementos.

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, mientras que los micronutrientes o microelementos son requeridos sólo en cantidades ínfimas para el crecimiento correcto de las plantas y tienen que ser agregados en cantidades muy pequeñas cuando no pueden ser provistos por el suelo. Dentro del grupo de los macronutrientes, necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades, los nutrientes primarios son nitrógeno, fósforo y potasio. Los nutrientes secundarios son magnesio, azufre y calcio. Las plantas también los absorben en cantidades considerables.

Los micronutrientes o microelementos son el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el zinc (Zn), el cobre (Cu), el molibdeno (Mo), el cloro (Cl) y el boro (B). Estos son parte de sustancias claves en el crecimiento de la planta, son absorbidos en cantidades minúsculas, su rango de provisión óptima es muy pequeño.

- **Nitrógeno**

El Nitrógeno (N) es el motor del crecimiento de la planta. Suple de uno a cuatro por ciento del extracto seco de la planta. Es absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar amino ácidos y proteínas. Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento.

- **Fosforo**

El fósforo es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas dado que favorece el desarrollo de las raíces, estimula el crecimiento de las plantas, favorece la floración, adelanta la maduración de los frutos y aporta al dulzor de los frutos.

	Clasificación		
	Bajo	Normal	Alto
Secano			
Arenoso	< 8	9 - 12	> 13
Franco	< 12	13 - 18	> 19
Arcilloso	< 15	16 - 24	> 25
Regadío			
Arenoso	< 12	13 - 18	> 19
Franco	< 15	16 - 25	> 26
Arcilloso	< 20	21 - 30	> 31

Tabla 3. Clasificación de los suelos según la presencia de fosforo

Fuente: (Andrade & Martínez, 2014)

- **Potasio**

El mantenimiento de determinantes niveles de potasio en el suelo es decisivo para que pueda desempeñar funciones como la formación de hidratos de carbono e incrementa la consistencia y dureza de los tejidos de las plantas dando mayor resistencia a ciertas enfermedades, a heladas y sequias.

	Clasificación		
	Bajo	Normal	Alto
Secano			
Arenoso	< 95	96 - 135	> 136
Franco	< 125	126 - 195	> 196
Arcilloso	< 155	156 - 255	> 256
Regadío			
Arenoso	< 135	136 - 215	> 216
Franco	< 155	156 - 295	> 296
Arcilloso	< 175	176 - 330	> 331

Tabla 4. Clasificación de los suelos la presencia de potasio.

Fuente: (Andrade & Martínez, 2014)

- **pH**

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad en los suelos. La determinación del pH reviste gran importancia, por cuanto da la clave sobre otras propiedades del suelo: por ejemplo, los suelos muy fuertemente ácidos tienen concentraciones tóxicas de aluminio soluble y/o manganeso fácilmente reducible; el pH influye sobre el desarrollo de las plantas, por su efecto sobre los microorganismos benéficos; en condiciones de acidez, el molibdeno tiende a ser retenido por las arcillas del suelo y por los óxidos hidratados de hierro y aluminio.

Un pH de siete significa que el suelo es químicamente neutral; valores más bajos significan que el suelo es ácido (con una excesiva concentración de iones hidrogenados

(H⁺) en el complejo de adsorción) y valores más elevados indican alcalinidad [una predominancia de calcio (Ca²⁺) y /o de cationes de sodio (Na⁺)].(FAO¹)

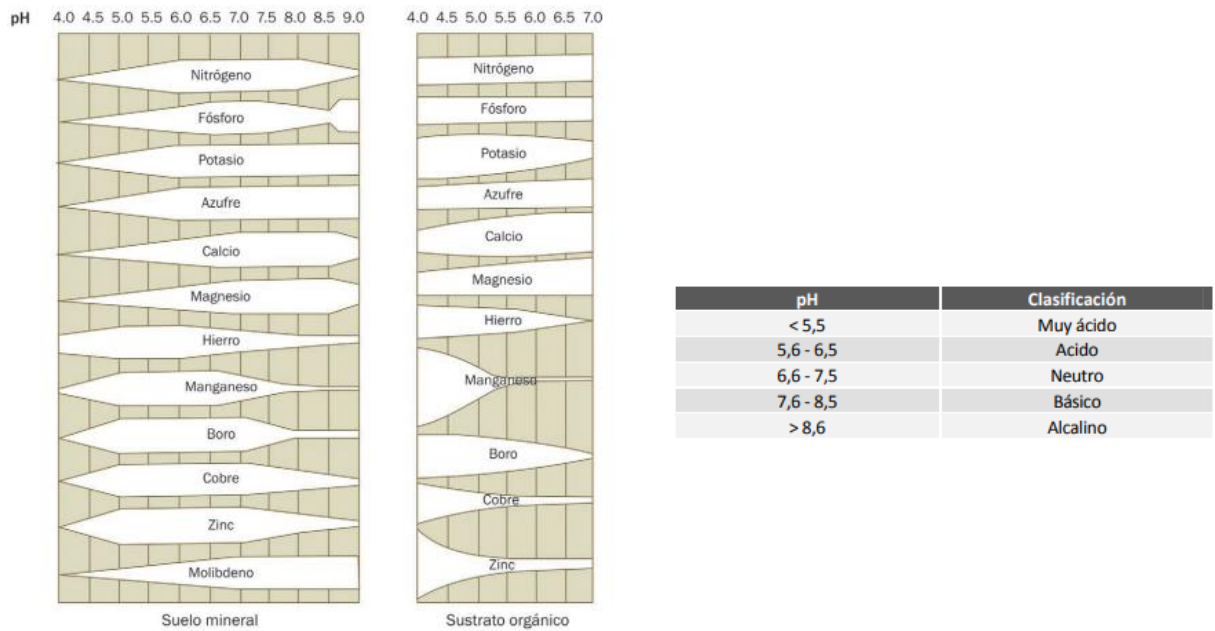


Tabla 5. Clasificación de los suelos según su pH y su influencia en la solubilidad de nutrientes en el suelo mineral y un sustrato orgánico.

Fuente: (Andrade & Martínez, 2014)

• Conductividad eléctrica

La salinidad del suelo se determina mediante la conductividad eléctrica de una solución de agua o en extracto de saturación una temperatura determinada. La solución del suelo contiene siempre sales solubles en mayor o menor proporción pero si la cantidad de estas aumenta y alcanzan un límite, la vegetación no puede subsistir.

CEe (dS/m)	CE _{1/5} (dS/m)	Clasificación
< 2	< 0,35	No salino
2 - 4	0,35 - 0,65	Ligeramente salino
4 - 8	0,65 - 1,15	Salino
> 8	> 1,15	Muy salino

Tabla 6. Clasificación de los suelos según su conductividad eléctrica

Fuente: (Andrade & Martínez, 2014)

¹ <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>

- **Materia orgánica**

La materia orgánica es fundamental para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La cantidad de materia orgánica de un suelo depende del material vegetal, de la textura del suelo y del pH. Su adecuada proporción favorece el desarrollo de una buena estructura, mejorando la aireación del suelo y la capacidad de retención del agua, genera una protección frente a la erosión, contribuye a mantener un pH óptimo y favorece una buena reserva de elementos nutritivos.

Arenoso	Franco	Arcilloso	Clasificación
< 0,7	< 1,0	< 1,2	Muy Bajo
0,7 - 1,2	1,0 - 1,5	1,2 - 1,7	Bajo
1,2 - 1,7	1,5 - 2,0	1,7 - 2,2	Normal
1,7 - 2,2	2,0 - 2,5	2,2 - 3,0	Alto
> 2,2	> 2,5	> 3,0	Muy Alto

Tabla 7. Clasificación de los suelos según la materia orgánica

Fuente: (Andrade & Martínez, 2014)

Capítulo 4

4. Marco Metodológico

4.1 Diseño del Experimento

Para determinar los efectos de la porcinaza, en el corto plazo, en las principales características fisicoquímicas del suelo, se desarrolló un experimento factorial, según Wayne (2004), un experimento factorial consiste en analizar los efectos que pueden tener más de una sola variable.

Los experimentos factoriales proporcionan información sobre los efectos de cada uno de los factores de manera individual, también permite analizar la interacción entre los factores y sus niveles.

4.1.1 Factores:

Se desea por medio de este diseño de experimento ver los efectos simultáneos de cuatro variables. Las variables que se interesan en analizar se conocen como factores. Un experimento factorial puede tener categorías en cada uno de sus factores y estos según Wayne (2004) se conocen como niveles.

Los factores definidos para este experimento son:

- **Fincas:**

Se tomará como factor a las fincas en donde se realizó la aplicación de la porcinaza. Para el desarrollo de la investigación se contó con seis fincas, tres ubicadas en el departamento de Antioquia y tres en el departamento del Valle del Cauca, todas estas participantes del programa de granjas ecoeficientes de Porkcolombia.

- **Departamento:**

Teniendo en cuenta las características biofísicas particulares de cada departamento donde se ubican las fincas, se toma como otro factor al departamento. Siendo Antioquia y Valle del Cauca, los departamentos con mayor inventario porcino del país.

- **Tratamiento:**

Se efectuarán tres tratamientos sobre una hectárea de suelo, el primero donde se analizarán las características del suelo sin la aplicación de porcina, un segundo tratamiento dos meses después de la aplicación de un litro de porcina y el tercer tratamiento cuatro meses después de la aplicación.

- **Nivel de profundidad:**

El análisis de suelo se realizará a dos profundidades, la primera de 0 a 5 cm y la segunda de 5 a 30 cm.

4.2 Desarrollo del Experimento:

4.2.1 Tipo de muestreo

El muestreo de suelos de manera sistemática es una herramienta que tienen los productores agropecuarios para conocer el estado nutricional de sus suelos. De esta manera pueden conocer la necesidad de fertilización de sus cultivos.

Según Buduba (2004), el objetivo de tomar muestras por medio del muestreo sistemático es asegurar la representatividad de las propiedades de un área homogénea de suelo. Este tipo de muestreo debe seguir una serie de pautas: Primero determinar el número de submuestras por hectárea. Existen dos formas para determinar el número de submuestras a) de forma extensiva para cubrir el mayor terreno y b) de forma intensiva de 10 a 30 muestras por hectárea.

La segunda pauta consiste en definir los patrones de extracción de la submuestra en el área homogénea. Como se muestra en el gráfico 3.

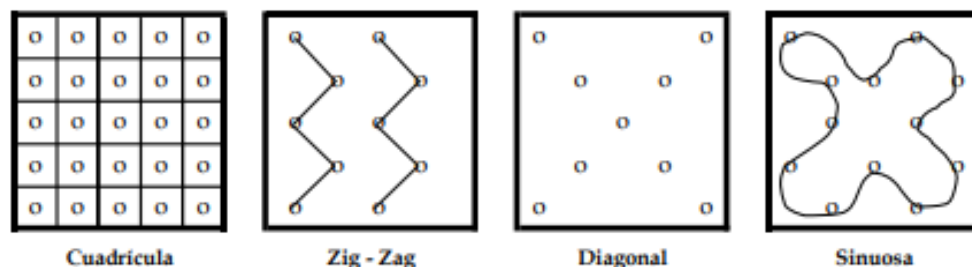


Gráfico 3. Métodos de extracción de submuestras de suelo.

Fuente: (Buduba, 2014)

Cada muestra tomada debe tener una profundidad determinada. Según Buduba (2004), la profundidad depende del tipo de cultivo que da uso al suelo. La muestra se debe

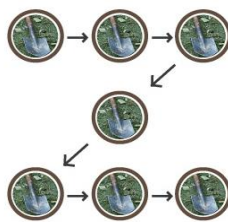
tomar de 0 a 5 cm si el uso es para Césped o viveros. En el caso de praderas o cultivos tradicionales como Trigo, Maíz, Sorgo se recomienda 0 a 20 cm. Para cultivos como forestales o frutales se recomienda tomar muestras con profundidades entre 0 - 30, 30 - 60 y 60 – 90 cm.

4.2.2 Recolección de datos

Por granja se tomaron tres muestras de suelo. La primera muestra se recolectó en suelo que no había sido fertilizado con porcínaza, las otras dos muestras se recolectaron en el suelo previamente fertilizados con porcínaza líquida.

En cada finca se siguió el siguiente protocolo para la recolección de las muestras:

1. Se identificó la ubicación del sitio donde se iba a realizar el muestreo a lo largo del estudio, es decir una hectárea. Posteriormente se identificaron los puntos donde se tomarían las muestras en la granja, tanto como para suelo sin fertilizar con porcínaza como para suelo fertilizado con porcínaza, como se presenta a continuación:



2. Se eliminó la cobertura vegetal y se realizó un hoyo a un nivel entre 0-30 cm en forma de V con la pala, dejando solo el centro de la muestra para que posteriormente fuera almacenado. Para la recolección de la muestra del suelo, tanto fertilizado como no fertilizado, se tomaron aproximadamente 8 muestras por granja (4 muestras a una profundidad de 0- 5 cm; y 4 muestras con una profundidad de 5- 30 cm) con un peso aproximado de 30-40g cada una. Las cuales fueron introducidas en dos bolsas ziploc, obteniendo 2 muestras homogeneizadas diferentes por granja en un solo tiempo. (cada muestra final peso aproximadamente 500 g).
3. Cada bolsa ziploc se identificó con un rótulo, donde se etiquetó con el código de la muestra de la siguiente forma:

- Si es procedente de suelo no fertilizado: 01 (código de la granja) /1 (primer tiempo de muestreo)/ SNF (suelo no fertilizado)/1 profundidad ó 2 profundidades= **011SNF(1 ó 2)**
- Si es procedente de suelo fertilizado: 01 (código de la granja) /1 (primer mes de muestreo)/ SF 1 (suelo fertilizado)/1 profundidad ó 2 profundidades = **011SF(1 ó 2)**

Este procedimiento se repitió tres veces, una primera en la hectárea sin fertilizar, una segunda vez después de dos meses de haber fertilizado con la porcinaza y una tercera vez cuatro meses después de la aplicación. Dicha recolección de información tuvo una duración de seis meses, en la que la asociación porkcolombia nos apoyó para llevar a cabo el proceso.

4.2.3 Principios del diseño de experimento

4.2.3.1 Aleatorización:

Consiste en que tanto la asignación del material experimental como el orden en que se realizan las pruebas individuales o ensayos se determinan aleatoriamente. Este principio se cumple al realizar el muestreo sistémico para la recolección de las muestras de suelo que fueron analizadas.

4.2.3.2 Replicación

Consiste en que cada tratamiento debe ser aplicado a varias unidades experimentales. Para el caso cada tratamiento fue aplicado en seis unidades experimentales, es decir, en seis fincas. Teniendo por cada tratamiento tres muestras en cada nivel de profundidad.

4.2.3.3 Control local

Consiste en particionar el conjunto total de unidades experimentales en subconjuntos (bloques) que sean lo más homogéneo posible, eliminando de esta forma los efectos de factores extraños que contribuyen a la variación sistemática de las diferencias entre las unidades experimentales.

Capítulo 5

5. Análisis y Resultados

5.1 Descripción de la técnica.

5.1.1 Técnicas de análisis en diseño de experimentos:

Los diseños experimentales básicamente buscan encontrar la relación causa – efecto. De manera específica se quiere mirar que efecto tienen las variables independientes sobre una dependiente (Ramon, 2000).

Dentro de este campo existen dos formas de analizar la información experimental. La primera se puede considerar como análisis paramétrico y la segunda es el análisis no paramétrico. Los análisis paramétricos pueden ser usados y tener validez cuando los errores de los modelos presentan un comportamiento normal. El análisis no paramétrico puede ser usado en el caso que los errores de los modelos iniciales no tenga comportamiento normal (Badil et al, 2007).

Las técnica más común en un análisis de paramétrico es conocida como análisis de varianza (Anova) y en el caso no paramétrico la prueba equivalente es el test de Kruskal – Wallis, que busca hacer un contraste de hipótesis de mostrar diferencias entre grupos, de forma no paramétrica según Badii et al (2012).

Para efectos de esta investigación se realizaron análisis paramétricos y no paramétricos dependiendo del comportamiento de las variables.

5.1.2 Modelo estadístico con cuatro factores:

El modelo estadístico de análisis de varianza Anova para cuatro factores con dos niveles y n replicas es el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + \varphi_l + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\tau\varphi)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\varphi)_{jl} \\ + (\gamma\varphi)_{kl} + (\tau\beta\gamma\varphi)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm} \\ i = 1: a \quad j = 1: b \quad k = 1: c \quad l = 1: d$$

Donde:

μ : Efecto medio de todas las observaciones.

τ_i : Efecto del i-ésimo nivel del factor A.
 β_j : Efecto del j-ésimo nivel del factor B.
 γ_k : Efecto del k-ésimo nivel del factor C.
 φ_l : Efecto del l-ésimo nivel del factor D.
 $(\tau\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción entre τ_i y β_j .
 $(\tau\gamma)_{ik}$: Efecto de la interacción entre τ_i y γ_k .
 $(\tau\varphi)_{il}$: Efecto de la interacción entre τ_i y φ_l .
 $(\beta\gamma)_{jk}$: Efecto de la interacción entre β_j y γ_k .
 $(\beta\varphi)_{jl}$: Efecto de la interacción entre β_j y φ_l .
 $(\gamma\varphi)_{kl}$: Efecto de la interacción entre γ_k y φ_l .
 $(\tau\beta\gamma\varphi)_{ijkl}$: Efecto de la interacción entre $\tau_i, \beta_j, \gamma_k$ Y φ_l .

Para un diseño de cuatro factores las hipótesis principales son:

$$\begin{aligned}
 H_0: \tau_i &= \dots = \tau_a \\
 H_0: \beta_j &= \dots = \beta_b \\
 H_0: \gamma_k &= \dots = \gamma_c \\
 H_0: \varphi_l &= \dots = \varphi_d \\
 H_0: (\tau\beta)_{ij} &= \dots = (\tau\beta)_{ab} \\
 H_0: (\tau\gamma)_{ik} &= \dots = (\tau\gamma)_{ac} \\
 H_0: (\tau\varphi)_{il} &= \dots = (\tau\varphi)_{ad} \\
 H_0: (\beta\gamma)_{jk} &= \dots = (\beta\gamma)_{bc} \\
 H_0: (\beta\varphi)_{jl} &= \dots = (\beta\varphi)_{bd} \\
 H_0: (\gamma\varphi)_{kl} &= \dots = (\gamma\varphi)_{cd} \\
 H_0: (\tau\beta\gamma\varphi)_{ijkl} &= \dots = (\tau\beta\gamma\varphi)_{abcd}
 \end{aligned}$$

5.2 Pruebas paramétricas

5.2.2.1 Análisis de Varianza

Fisher en (1935) desarrollo los análisis varianza conocidos como (Anova). Esta técnica consiste en analizar la varianza total de un conjunto de información la cual se divide en dos o más componentes donde cada una es una fuente específica de variación. De esta manera permite determinar cuál es la contribución de cada fuente de la variación total.

El análisis de varianza es principalmente usado en el diseño de experimentos. Con el propósito de a) estimar o comprobar hipótesis con respecto a las variaciones de la población y b) probar hipótesis respecto a las medias de las poblaciones según Wayne (2004).

5.2.2.2 Pruebas de normalidad

Para comprobar si se verifica la hipótesis de normalidad necesaria para que el resultado de algunos análisis ANOVA sea fiable se usarán:

- **Prueba de Kolmogorov-Smirnov**

Cuando la prueba Kolmogorov-Smirnov se aplica para contrastar la hipótesis de normalidad de la población, el estadístico de prueba es la máxima diferencia:

$$D = \max |F_n(x) - F_0(x)|$$

siendo $F_n(x)$ la función de distribución muestral y $F_0(x)$ la función teórica o correspondiente a la población normal especificada en la hipótesis nula.

- **Prueba de Shapiro-Wilk**

Cuando la muestra es como máximo de tamaño 50 se puede contrastar la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk.. El estadístico de prueba es:

$$W = \frac{D^2}{nS^2}$$

donde D es la suma de las diferencias corregidas.

Se rechazará la hipótesis nula de normalidad si el estadístico W es menor que el valor crítico proporcionado.

5.3 Descripción de los datos

Se recolectaron muestras de suelo de seis fincas, tres ubicadas en el departamento de Antioquia y tres en el departamento de Valle del Cauca, en cada una de estas se tomaron muestras en tres oportunidades, la primera sin tratamiento, la segunda tras dos meses de haber aplicado la porcinaza como fertilizante y una tercera tras cuatro meses de la aplicación. En cada visita se tomaron tres muestras por cada tipo de profundidad, de 0 cm a 5 cm y de 5 cm a 30 cm. En ese sentido, tras el análisis de suelo realizado a estas muestras se obtuvieron por finca 18 datos por cada variable analizada, es decir un total de 108 datos para el estudio por variable.

En total el análisis de suelo arroja información sobre 21 variables: pH, Materia Orgánica, Humedad, Fosforo, Conductividad eléctrica, Densidad aparente, CIC,

Textura, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Hierro, Cobre, Manganese, Zinc, Azufre, Boro, Dióxido nitrógeno, Nitrato y Nkjt. De estas variables, se escogieron seis, las más relevantes para la nutrición de las plantas y para determinar la fertilidad del suelo (Ver marco conceptual).

Los suelos de las fincas analizadas, presentaron en un primer análisis, texturas franco arenosos, los suelos francos hacen referencia aquellos que tiene de manera equilibrada arena, arcilla y partículas de limo. Los suelos francos arenosos tienen una mayor cantidad de partículas de arena, lo que significa que este tiene partículas más grandes que aquellos que son menos arenosos. Estos suelos presentan un buen drenaje gracias al tamaño de sus partículas y tienden a tener una buena aireación sin embargo no mantienen bien los nutrientes.

FINCA	Departamento	SNF		SSF1		SSF2	
		NI	NII	NI	NII	NI	NII
La_Gabiota	Valle	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco	Franco	Franco
La_Cruz	Valle	Franco Arcilloso Limoso	Arcillo Limoso	Franco Arcilloso Limoso	Arcillo Limoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso
La_Sierra	Valle	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso
La_Floresta	Antioquia	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arcilloso Limoso
La_Ricura	Antioquia	Franco Arcillo Arenoso	Franco Limoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso
Villa_Sofia	Antioquia	Arenoso	Franco Limoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Limoso	Franco Limoso

Tabla 8. Textura de los suelos analizados

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4 se muestran las correlaciones de las variables obtenidas en el análisis de suelos, se destaca la correlación positiva entre las variables materia orgánica y humedad, y materia orgánica y potasio, y una correlación negativa entre humedad y pH y materia orgánica y pH.

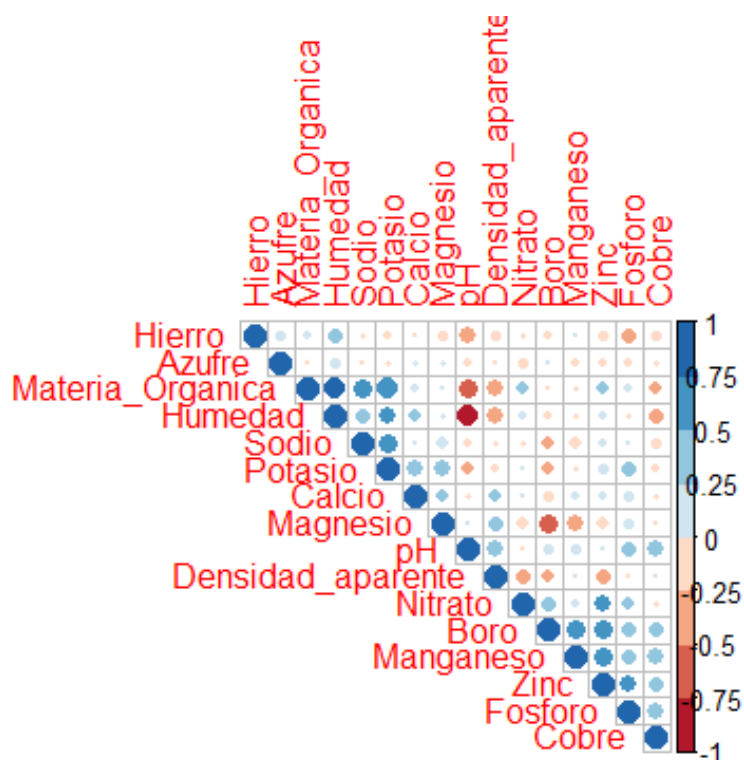


Gráfico 4. Correlación de las variables

Fuente: Elaboración propia

5.4 Análisis de datos

5.4.2 Densidad aparente

Como se puede observar en la tabla 9., la densidad aparente de los suelos analizados una vez aplicada la porcinaza se redujo, con un cambio más visible pasados cuatro meses, lo cual incrementa la tasa de infiltración y la capacidad de retención de nutrientes del suelo. Cabe recordar que una baja densidad implica suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje, cuando la densidad aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando el crecimiento de las raíces.

	General		Antioquia		Valle del Cauca	
	NI	NII	NI	NII	NI	NII
SNF	1.10	1.12	1.12	0.97	1.08	1.27
SSF1	1.03	1.10	0.86	0.94	1.19	1.26
SSF2	0.92	0.93	0.77	0.78	1.08	1.07

Tabla 9. Media de la densidad aparente por nivel y departamento

Fuente: Elaboración propia

La media observada, a nivel general, antes de aplicar la porcinaza fue de alrededor de 1.1 g/cm³ en los dos niveles de profundidad analizados, al aplicar la porcinaza y después

de dos meses se observó una reducción media de 0.1 g/cm³ pasando a 1.03 g/cm³ en este tratamiento. Finalmente, tras cuatros meses de la aplicación se sigue observando reducción, llegando a 0.9 g/cm³. Ahora bien, entre los dos niveles de profundidad no existe diferencia significativa al ver los efectos a nivel general.

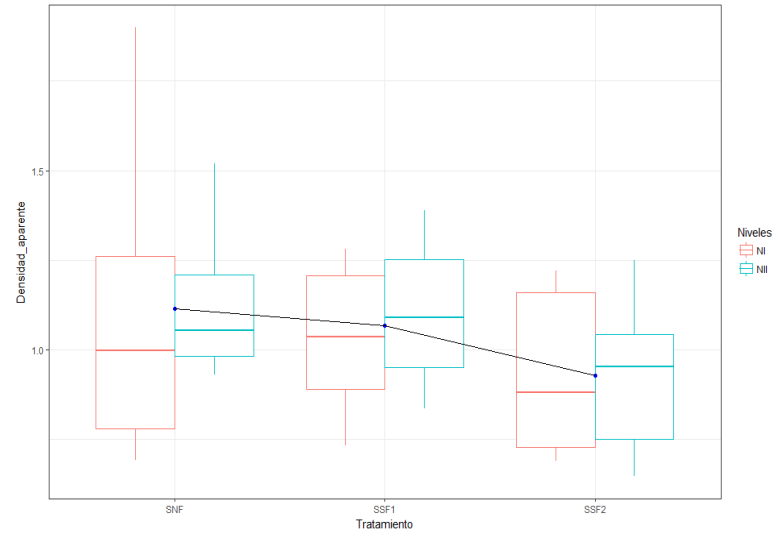


Gráfico 5. Box-plot Densidad vs Tratamiento por nivel de profundidad
Fuente: Elaboración propia

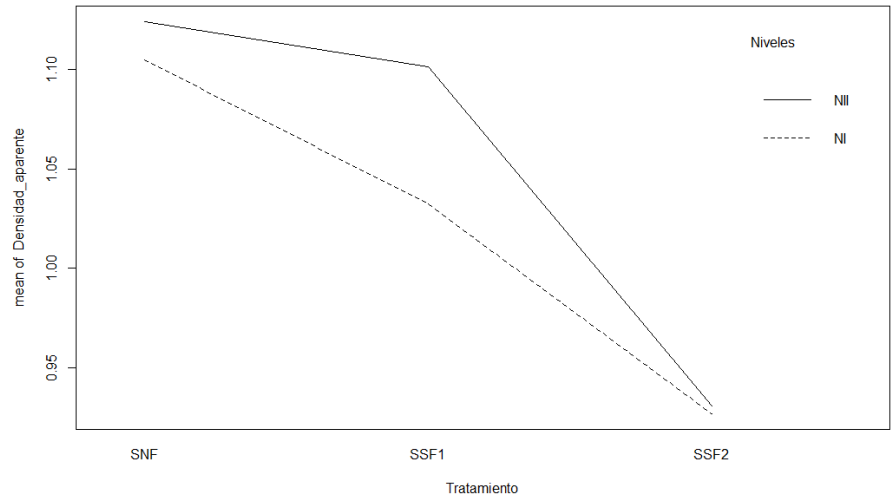


Gráfico 6. Interacción Densidad, Tratamiento y nivel de profundidad
Fuente: Elaboración propia

Frente al comportamiento de esta característica en los dos departamentos analizados, se observa una diferencia significativa, en los suelos de Antioquia, el efecto de la porcinaza en la reducción de la densidad aparente es más rápida que en los suelos del Valle, donde solo se logró una reducción pasados cuatro meses, es decir con el tercer tratamiento, y solo bajo el nivel de profundidad de 0.5 cm a 30 cm.

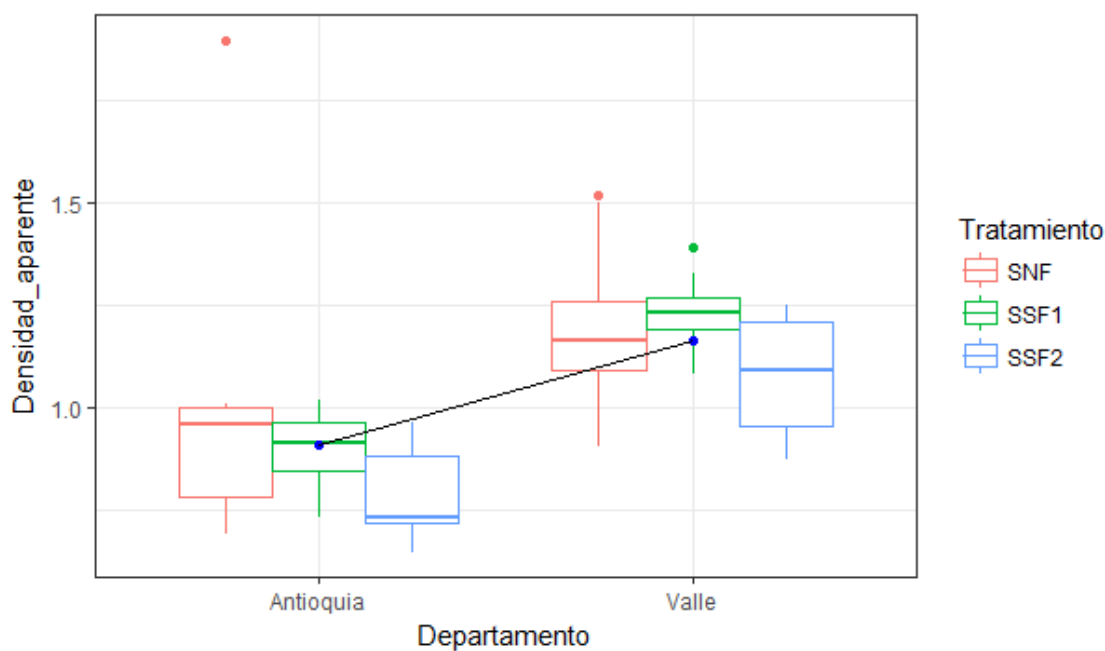


Gráfico 7. Box-plot Densidad vs Tratamiento por Departamento
Fuente: Elaboración propia

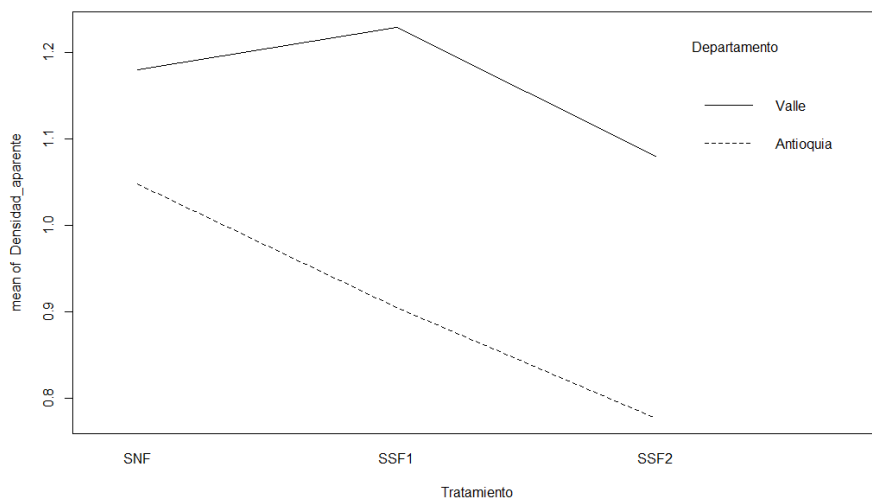


Gráfico 8. Interacción Densidad, Tratamiento y departamento
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en el siguiente gráfico se evidencia que al aplicar la porcínaza, tratamientos SSF1 y SSF2, la variabilidad de la densidad aparente se reduce en las muestras recolectadas por cada finca. Es decir que el comportamiento de la densidad es homogéneo en toda la hectárea a partir de la aplicación del fertilizante orgánico.

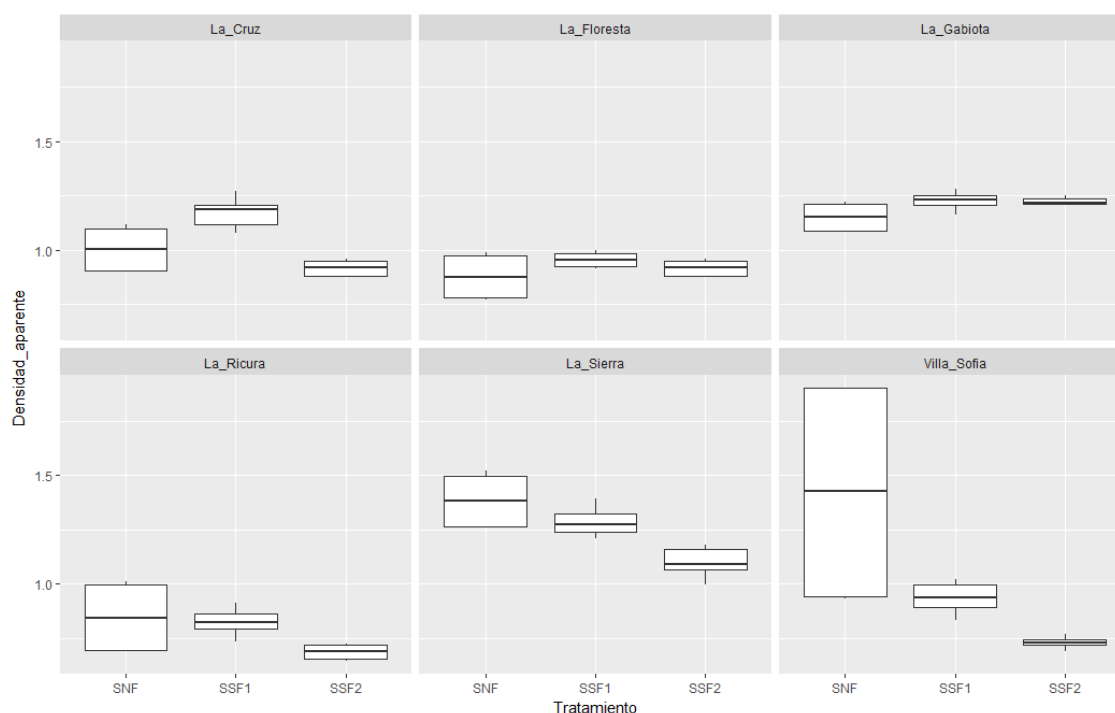


Gráfico 9. Diagrama de caja de los tratamientos en cada finca
Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta la evaluación de la significancia estadística de los resultados del ensayo, para esto se aplicó un ANOVA a los resultados, evaluando normalidad empleando la prueba de Jarque Bera.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamiento	2	0.66	0.33	457.68	< 2.2e-16 ***
Niveles	1	0.02	0.02	34.38	1.264e-07 ***
Departamento	1	1.71	1.71	2354.89	< 2.2e-16 ***
Finca	4	1.02	0.25	351.40	< 2.2e-16 ***
Tratamiento:Niveles	2	0.02	0.01	14.37	5.597e-06 ***
Tratamiento:Departamento	2	0.19	0.09	135.61	< 2.2e-16 ***
Niveles:Departamento	1	0.07	0.07	103.00	1.573e-15 ***
Tratamiento:Finca	8	1.22	0.15	209.73	< 2.2e-16 ***
Niveles:Finca	4	0.42	0.10	147.09	< 2.2e-16 ***
Tratamiento:Niveles:Departamento	2	0.18	0.09	126.40	< 2.2e-16 ***
Tratamiento:Niveles:Finca	8	1.13	0.14	194.45	< 2.2e-16 ***
Residuals	72	0.05	0.00		

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Tabla 10. Anova del modelo factorial
Fuente: Elaboración propia

Como se detalla en la Tabla 10 los efectos de cada factor y sus interacciones son significativos dentro del modelo. Así mismo, al aplicar la prueba de Jarque-Bera se obtiene un p-value = 0.3775 con el cual no se puede rechazar la hipótesis nula: los

errores se distribuyen de manera normal. Es decir, su comportamiento es normal, tal como lo muestran la gráfica de dispersión y el histograma de los residuales.

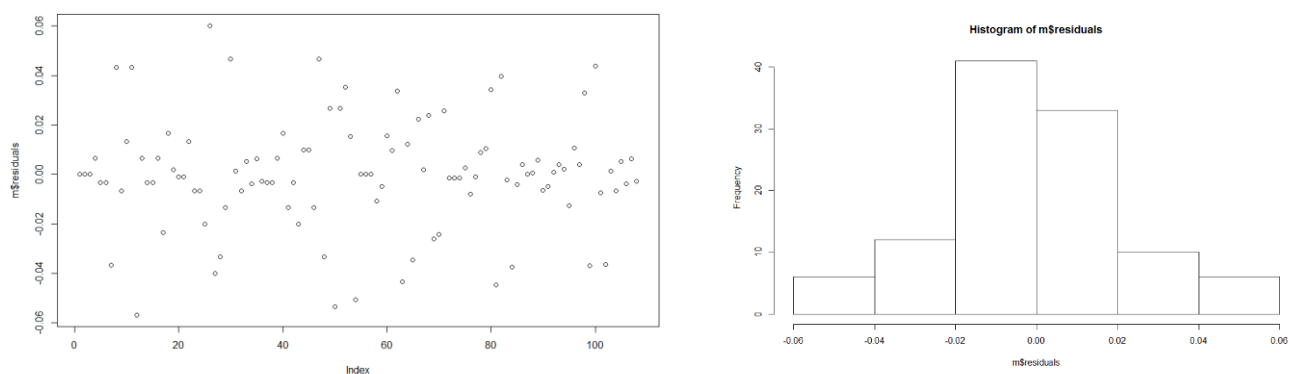


Gráfico 10. Gráfico de dispersión e histograma de los errores
Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Humedad relativa

En la tabla 11., se observa que la media de la humedad de los suelos analizados una vez aplicada la porcinaza se reduce, con un cambio más visible pasados los cuatro meses. No obstante, estos porcentajes de humedad se encuentran en niveles medios y altos.

	General		Antioquia		Valle del Cauca	
	NI	NII	NI	NII	NI	NII
SNF	52.71	34.18	74.51	50.50	30.91	17.86
SSF1	35.33	32.76	55.95	51.32	14.72	14.21
SSF2	37.63	27.86	52.67	38.20	22.58	17.53

Tabla 11. Media de la humedad por nivel y departamento
Fuente: Elaboración propia

La media observada, a nivel general, antes de aplicar la porcinaza fue de alrededor de 52.7% en el primer nivel y 34.1% en el segundo nivel, al aplicar la porcinaza y después de dos meses se observó una reducción en los dos niveles, sin embargo en el primer nivel fue mayor, llegado a casi 20 puntos. La reducción continuo pasados los meses en el nivel de profundidad dos, no obstante, en el nivel uno presento una leve recuperación.

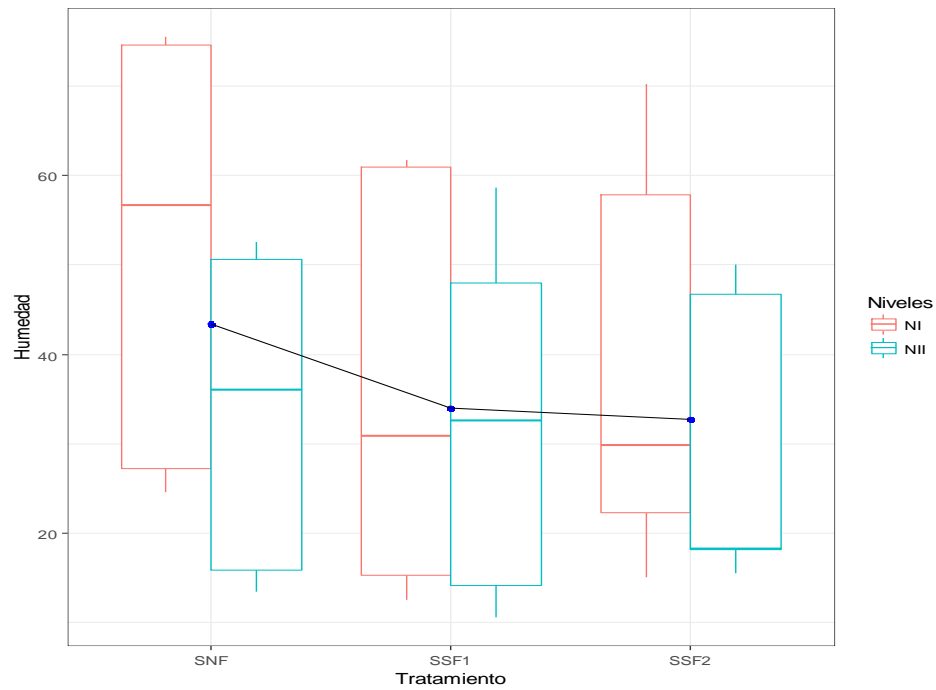


Gráfico 11. Box-plot Humedad vs Tratamiento por nivel de profundidad
Fuente: Elaboración propia

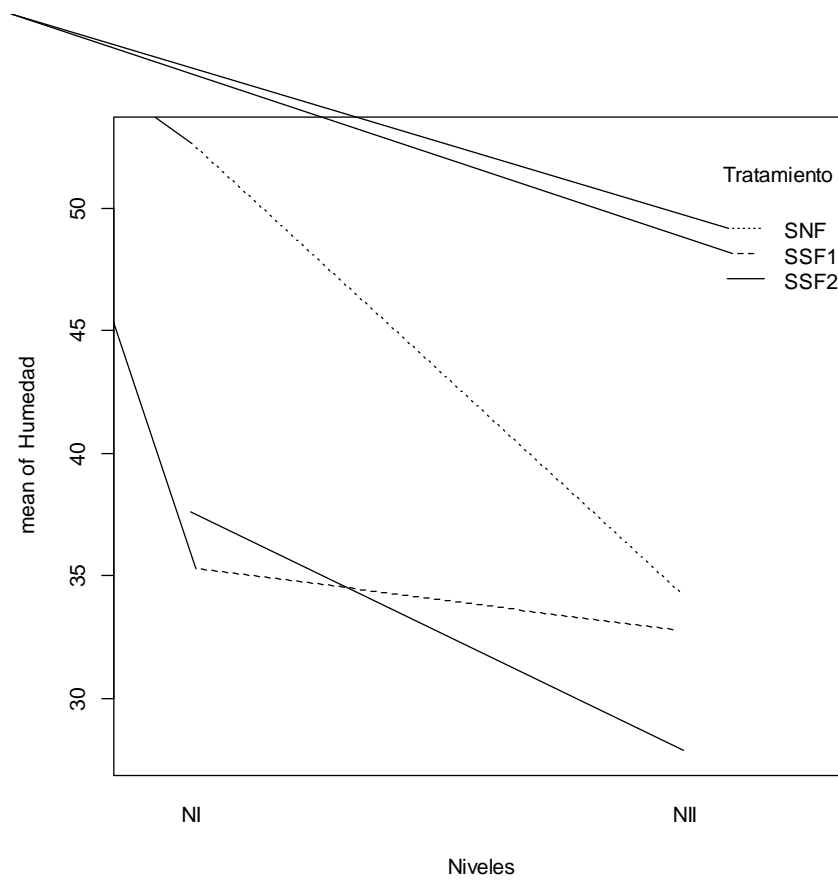


Gráfico 12. Interacción Humedad, Tratamiento y nivel de profundidad

Fuente: Elaboración propia

Frente al comportamiento de esta característica en los dos departamentos analizados, se observa diferencias, en los suelos de Antioquia, con la aplicación de la porcínaza se reduce el porcentaje de humedad, manteniendo este efecto tanto a los dos meses como a los cuatro meses, mientras que en Valle del Cauca se observa una leve recuperación de la humedad pasados los cuatro meses.

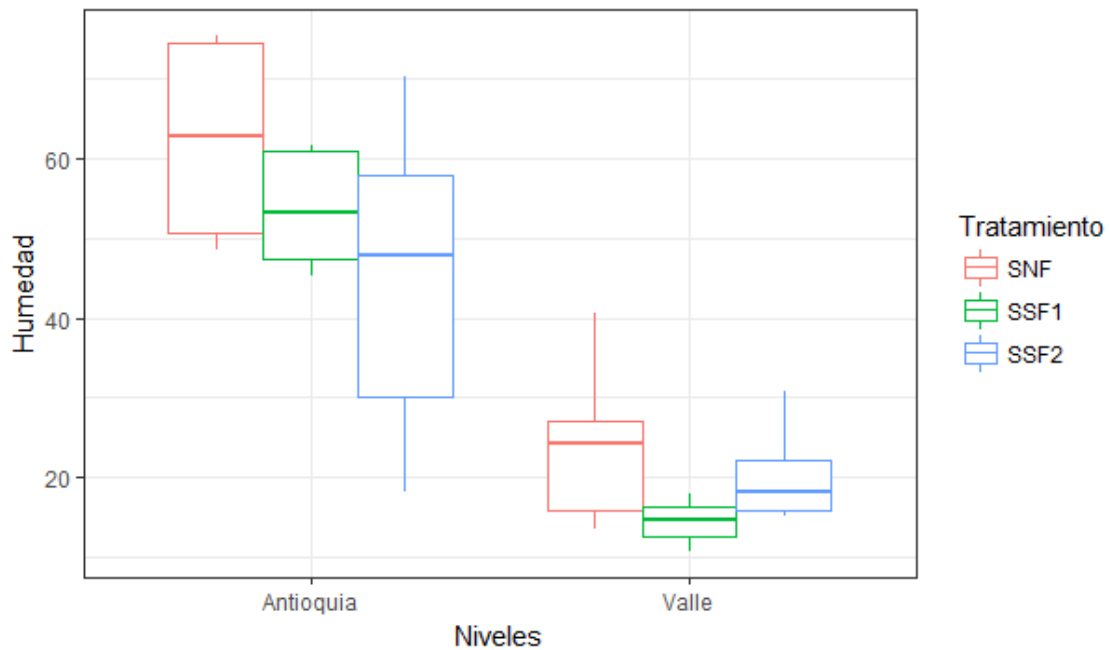


Gráfico 13. Box-plot Humedad vs Tratamiento por departamento

Fuente: Elaboración propia

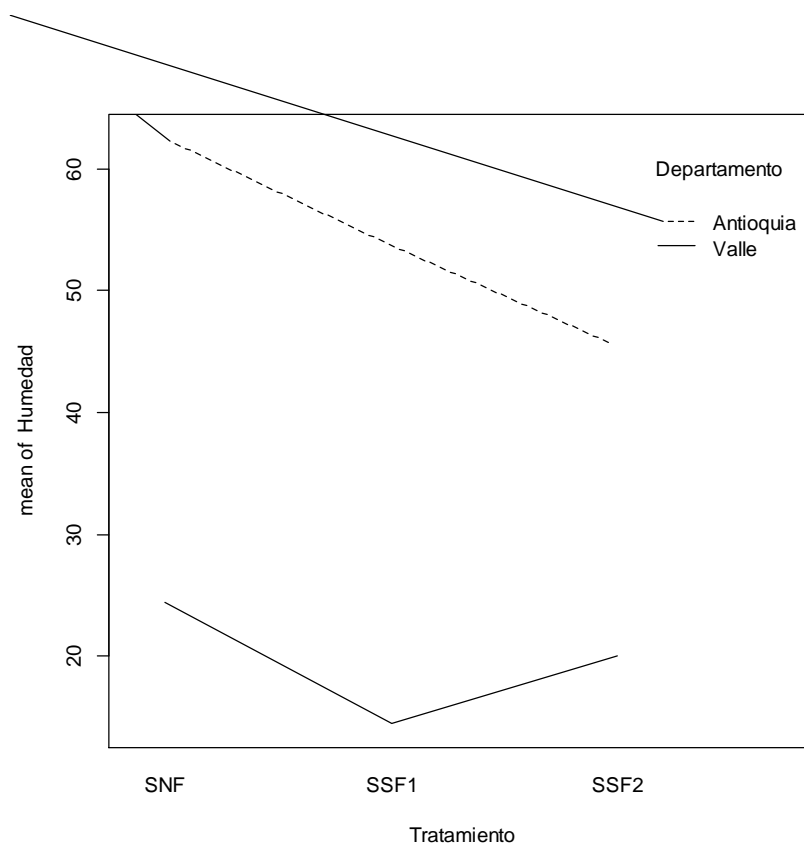


Gráfico 14. Interacción Humedad, Tratamiento y departamento
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en el siguiente gráfico se evidencia como el comportamiento de la humedad es muy diferente en cada una de las fincas, aún en las fincas ubicadas en un mismo departamento el comportamiento varia notablemente, esto debido a que la humedad está estrechamente relacionada con la textura, la estructura y la materia orgánica.

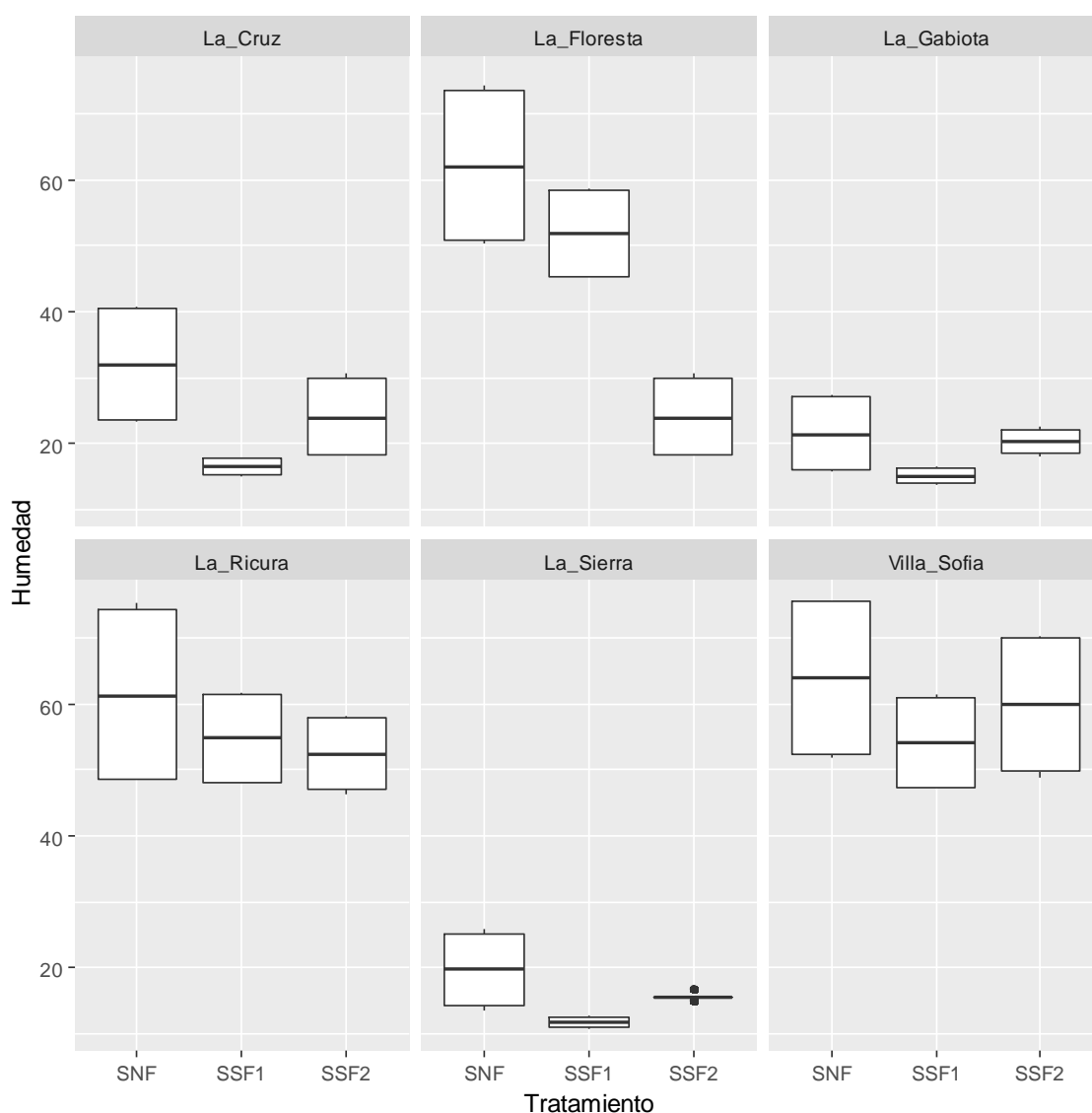


Gráfico 15. Diagrama de caja de los tratamientos en cada finca
Fuente: Elaboración propia

La relación entre la humedad y otras características del suelo se pueden generalizar en: a) los suelos arenosos son más permeables y retienen menos agua que los arcillosos; b) los suelos con buena estructura tienen mayor velocidad de infiltración que los compactados; c) el mayor contenido en materia orgánica aumenta el agua retenida por el suelo y d) a mayor espesor del suelo mayor capacidad de retener agua. Como se observa en las siguientes gráficas, si bien existe esa relación entre humedad y materia orgánica y densidad del suelo, esta se ve disminuida conforme pasa el tiempo del tratamiento, es decir, pareciera que el efecto positivo que logra la porcinaza disminuye al pasar el tiempo.

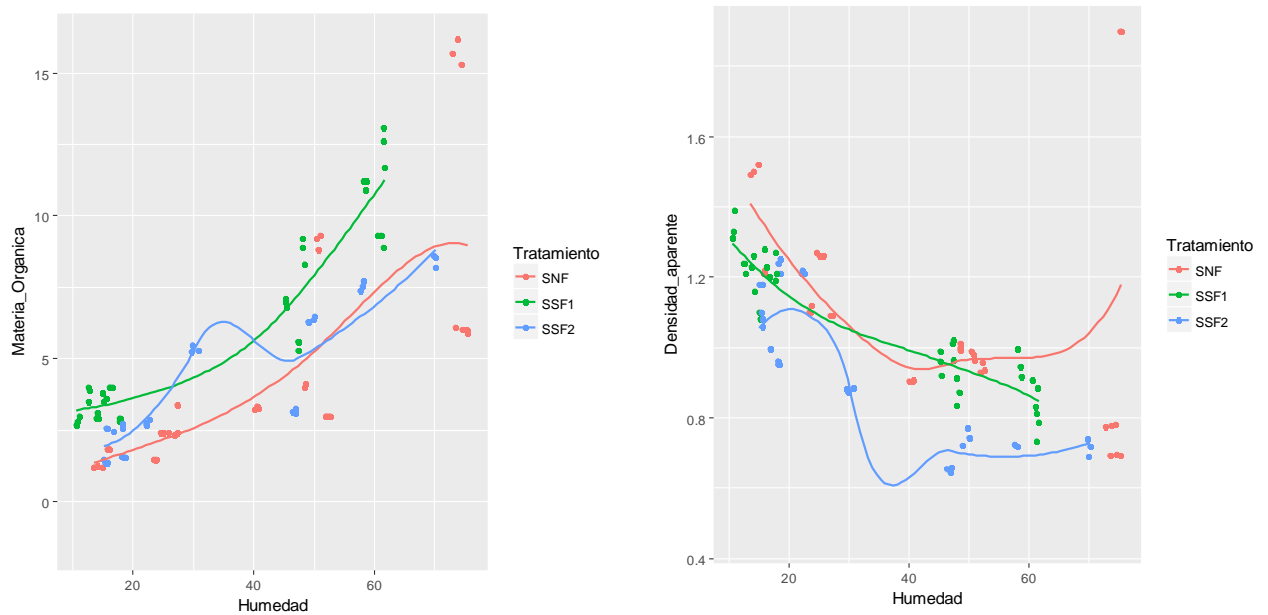


Gráfico 16. Relación humedad materia organica y densidad aparente.
Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta la evaluación de la significancia estadística de los resultados del ensayo, para esto se aplicó un ANOVA a los resultados, evaluando normalidad empleando la prueba de Kolmogorov.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Tratamiento	2	2452.6	1226.3	8241.47	< 2.2e-16	***
Niveles	1	2858.3	2858.3	19209.17	< 2.2e-16	***
Departamento	1	31621.3	31621.3	212514.25	< 2.2e-16	***
Finca	4	2394.2	598.5	4022.57	< 2.2e-16	***
Tratamiento:Niveles	2	1149.3	574.6	3861.96	< 2.2e-16	***
Tratamiento:Departamento	2	1061.0	530.5	3565.41	< 2.2e-16	***
Niveles:Departamento	1	450.6	450.6	3028.27	< 2.2e-16	***
Tratamiento:Finca	8	2720.0	340.0	2285.03	< 2.2e-16	***
Niveles:Finca	4	407.4	101.9	684.50	< 2.2e-16	***
Tratamiento:Niveles:Departamento	2	58.0	29.0	194.87	< 2.2e-16	***
Tratamiento:Niveles:Finca	8	566.9	70.9	476.26	< 2.2e-16	***
Residuals	72	10.7	0.1			

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

Tabla 12. Anova del modelo factorial
Fuente: Elaboración propia

Como se detalla en la Tabla 12 los efectos de cada factor y sus interacciones son significativos dentro del modelo. Así mismo, al aplicar la prueba de Kolmogorov se obtiene un p-value = 0.3139 con el cual no se puede rechazar la hipótesis nula: los

errores se distribuyen de manera normal. Es decir, su comportamiento es normal, tal como lo muestran la gráfica de dispersión y el histograma de los residuales.

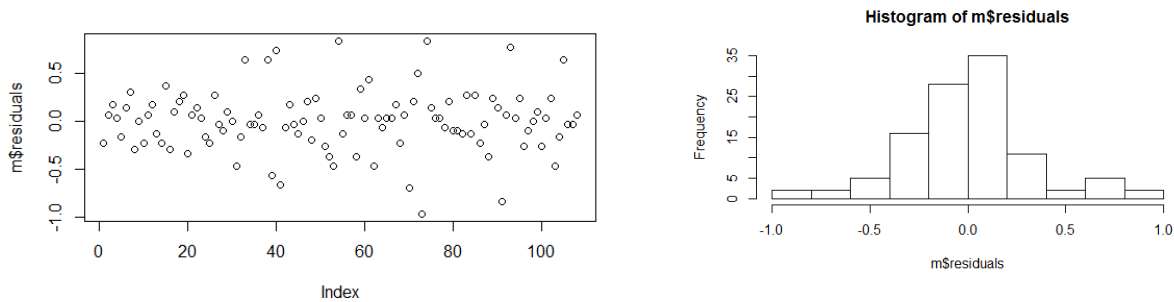


Gráfico 17. Gráfico de dispersión e histograma de los errores
Fuente: Elaboración propia

5.4.4 Nitrato

Los nitratos (NO3) son la forma en que las plantas absorben preferentemente el nitrógeno que requieren como constituyente esencial de las proteínas. Al analizar el efecto de la porcinaza en la producción de nitrato se encuentra que esta es positiva, en el nivel más superficial del suelo se observa un aumento considerable y aunque en el segundo nivel de profundidad se presenta una reducción, transcurridos los cuatro meses, en todos los casos aumenta la producción logrando un nivel más alto que el inicial (sin tratamiento).

	General		Antioquia		Valle del Cauca	
	NI	NII	NI	NII	NI	NII
SNF	18.16	14.22	19.37	13.32	16.95	15.13
SSF1	21.83	10.33	26.23	10.83	17.43	9.84
SSF2	29.16	20.02	35.64	20.15	22.68	19.90

Tabla 13. Media del nitrato por nivel y departamento
Fuente: Elaboración propia

La media observada, a nivel general, antes de aplicar la porcinaza fue de alrededor de 18.1 ppm en el primer nivel y 14.22 ppm en el segundo nivel, al aplicar la porcinaza y después de dos meses se observó un aumento en el primer nivel y una reducción en el segundo nivel, pasados los cuatro meses el aumento se observó en los dos niveles, llegando a aumentar 11 ppm y 6 ppm respecto del tratamiento control.

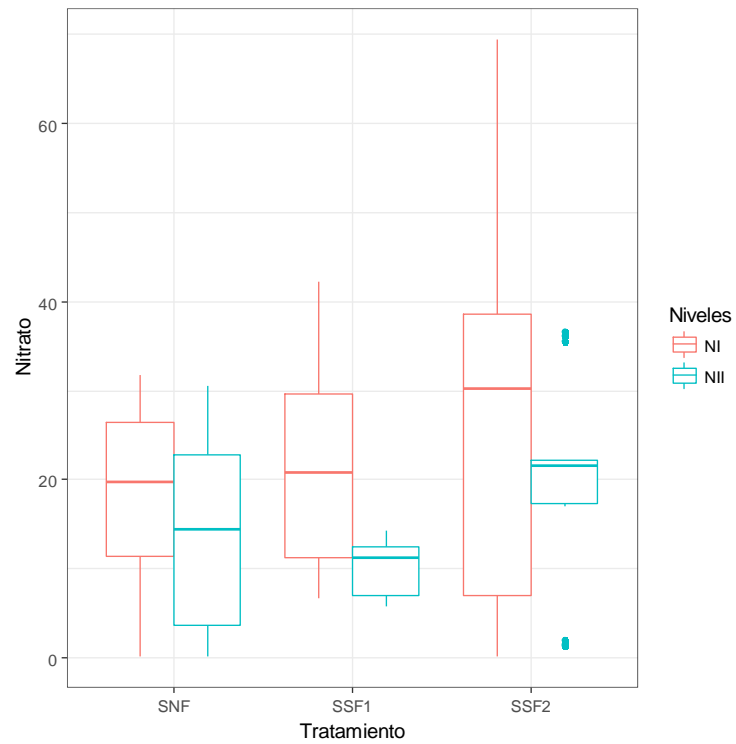


Gráfico 18. Box-plot Nitrato vs Tratamiento por nivel de profundidad
Fuente: Elaboración propia

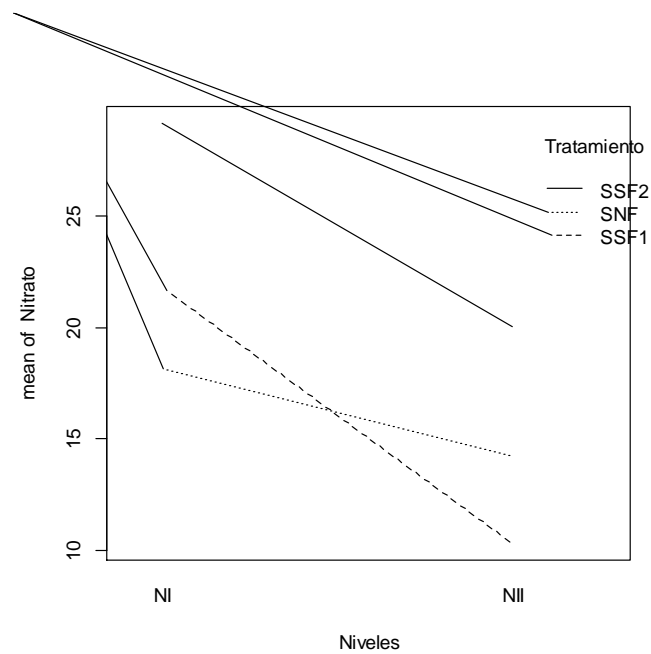


Gráfico 19. Interacción Nitrato, Tratamiento y nivel de profundidad
Fuente: Elaboración propia

Frente al comportamiento de esta característica en los dos departamentos analizados, se observa la misma tendencia, es decir un aumento del nitrato, no obstante, en el departamento del Valle los aumentos en relación al tratamiento inicial son mayores.

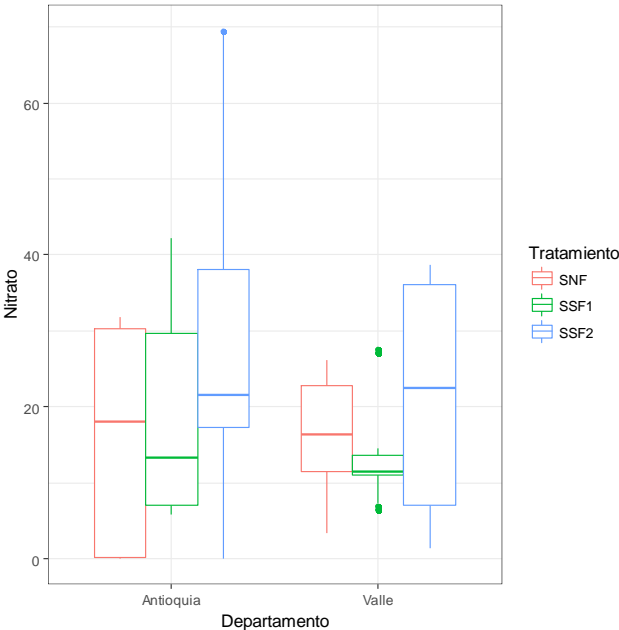


Gráfico 20. Box-plot Nitrato vs Tratamiento por departamento
Fuente: Elaboración propia.

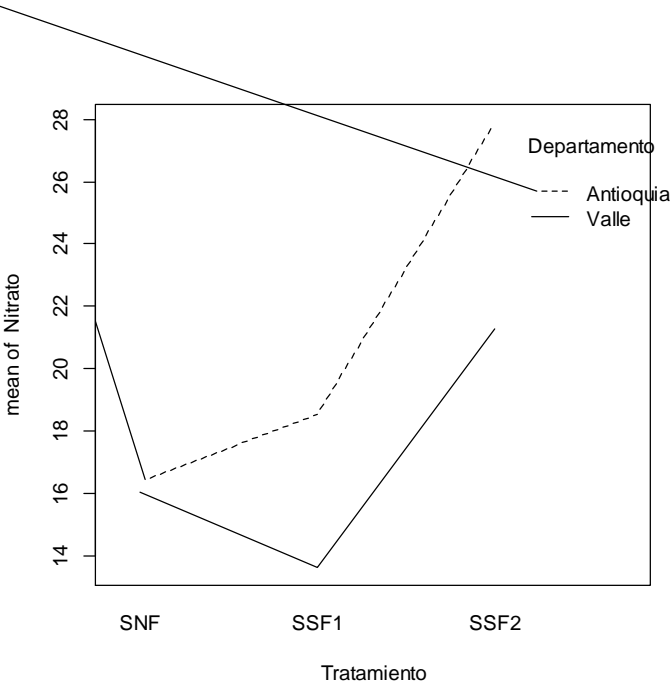


Gráfico 21. Interacción Nitrato, Tratamiento y departamento
Fuente: Elaboración propia

El nitrógeno presente en el suelo está en su mayor parte (más del 95 %) en forma orgánica, ligado al ciclo de la materia orgánica.

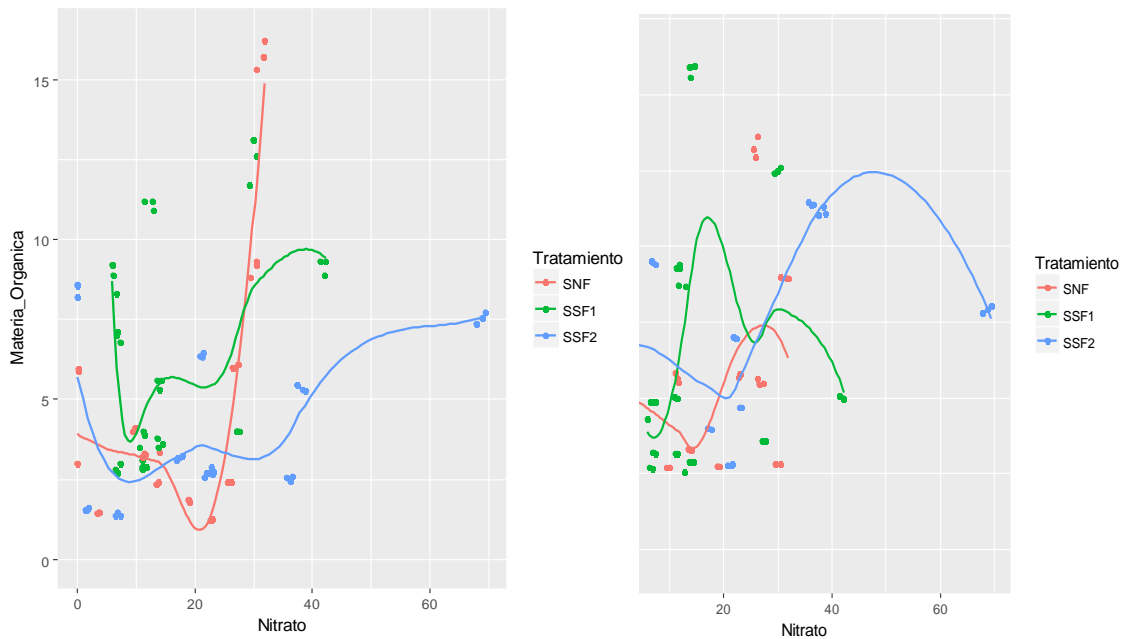


Gráfico 22. Relación nitrato, materia orgánica y fósforo
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en el siguiente gráfico se evidencia como el comportamiento del nitrato es muy diferente en cada una de las fincas, en al menos una finca de cada una de las analizadas por departamento se presenta con la aplicación de la porcinaza niveles de nitrato inferiores a los observados con el tratamiento control.

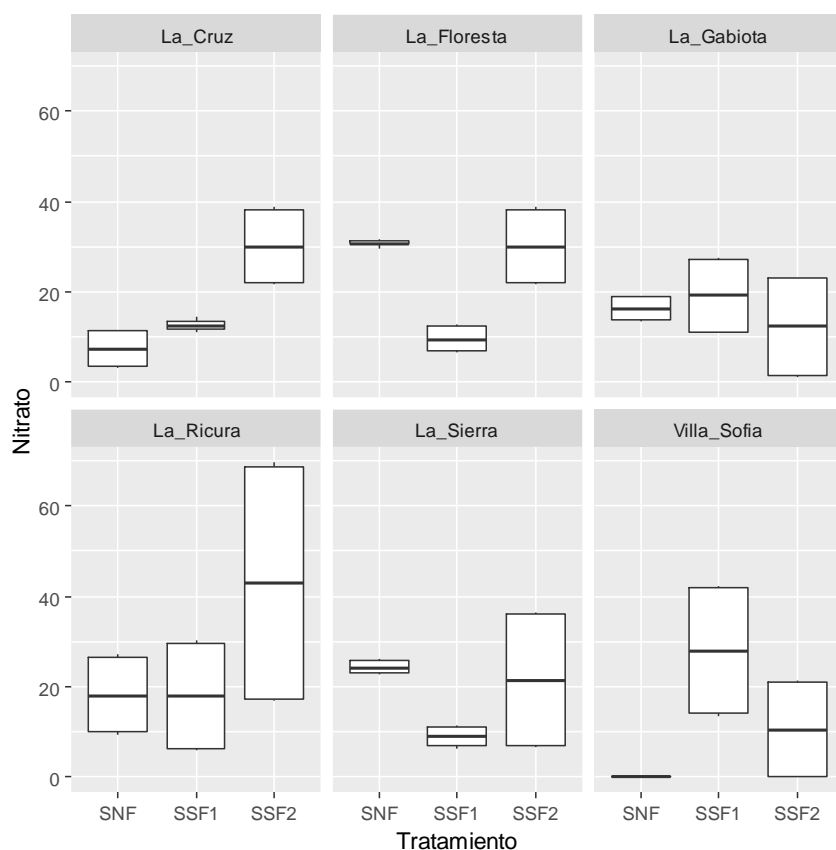


Gráfico 23. Diagrama de caja de los tratamientos en cada finca

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta la evaluación de la significancia estadística de los resultados del ensayo, para esto se aplicó un ANOVA a los resultados, evaluando normalidad empleando la prueba de Shapiro-Wilk.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamiento	2	1716.0	858.01	4707.78	< 2.2e-16 ***
Niveles	1	1810.8	1810.76	9935.41	< 2.2e-16 ***
Departamento	1	418.4	418.44	2295.95	< 2.2e-16 ***
Finca	4	1880.2	470.04	2579.06	< 2.2e-16 ***
Tratamiento:Niveles	2	269.0	134.50	738.00	< 2.2e-16 ***
Tratamiento:Departamento	2	191.2	95.59	524.51	< 2.2e-16 ***
Niveles:Departamento	1	459.7	459.73	2522.47	< 2.2e-16 ***
Tratamiento:Finca	8	7291.1	911.39	5000.67	< 2.2e-16 ***
Niveles:Finca	4	3164.2	791.06	4340.46	< 2.2e-16 ***
Tratamiento:Niveles:Departamento	2	81.6	40.80	223.89	< 2.2e-16 ***
Tratamiento:Niveles:Finca	8	4654.1	581.76	3192.03	< 2.2e-16 ***
Residuals	72	13.1	0.18		

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Tabla 14. Anova del modelo factorial

Fuente: Elaboración propia

Como se detalla en la Tabla 14 los efectos de cada factor y sus interacciones son significativos dentro del modelo. Así mismo, al aplicar la prueba de Shapiro-Wilk se obtiene un $p\text{-value} = 0.161$ con el cual no se puede rechazar la hipótesis nula: los errores se distribuyen de manera normal. Es decir, su comportamiento es normal, tal como lo muestran la gráfica de dispersión y el histograma de los residuales.

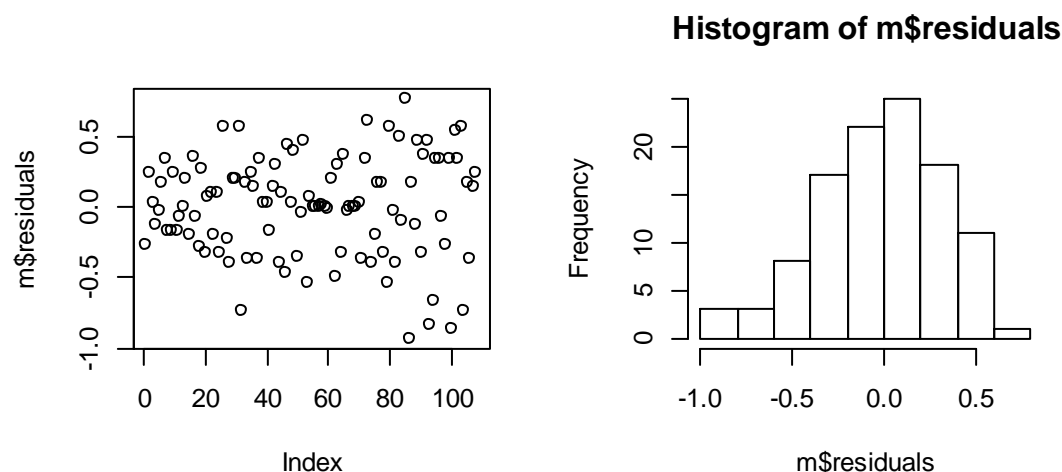


Gráfico 24. Gráfico de dispersión e histograma de los errores
Fuente: Elaboración propia

5.4.5 Fósforo

En cuanto a la concentración de fósforo, se obtuvo que estos resultados no siguen una distribución normal y por lo tanto se aplicó la prueba de Kruskal – Wallis, que con un $p\text{-value} = 0.03807$ se confirma que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Como se observa en la tabla 15 la aplicación de porcinaza en el suelo, tuvo como efecto un aumento del fósforo en los dos niveles de profundidad analizados, teniendo un efecto mayor en la profundidad de 5 cm a 30 cm. Cabe recordar que el fósforo se clasifica como un nutriente primario, razón por la cual es comúnmente deficiente en la producción agrícola y los cultivos lo requieren en cantidades relativamente grandes.

	General		Antioquia		Valle del Cauca	
	NI	NII	NI	NII	NI	NII
SNF	236.60	67.86	228.30	15.01	244.90	120.71
SSF1	250.23	125.62	219.30	87.35	281.16	163.88
SSF2	314.83	167.58	333.58	104.04	296.08	231.12

Tabla 15. Media del Fósforo por nivel y departamento
Fuente: Elaboración propia

Ahora bien aunque los aumentos del fósforo, respecto del tratamiento control (SNF), son mayores en el segundo nivel de profundidad, es en el primer nivel de profundidad donde se concentra la mayor cantidad de fósforo, lo cual beneficia la producción de pasturas, las cuales toman los nutrientes de la parte más superficial del suelo.

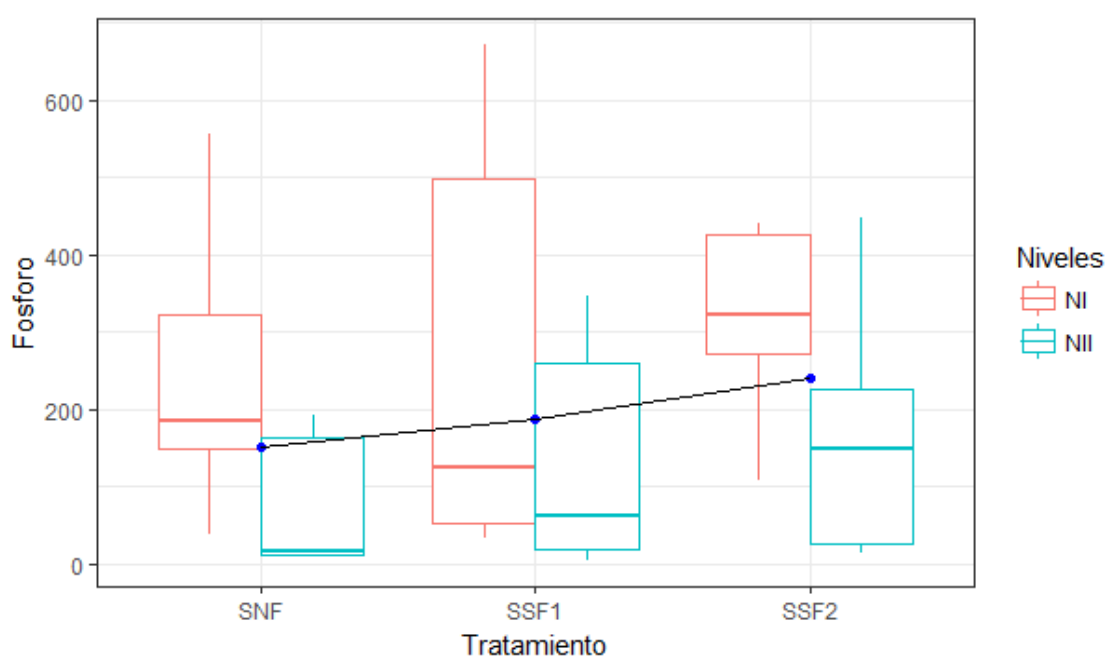


Gráfico 25. Box-plot Fósforo vs Tratamiento por nivel de profundidad
Fuente: Elaboración propia

Frente al comportamiento de esta característica en los dos departamentos analizados, se observa un comportamiento similar, no obstante en el departamento del Valle del Cauca los valores de fósforo presentes en el suelo son mayores que en Antioquia.

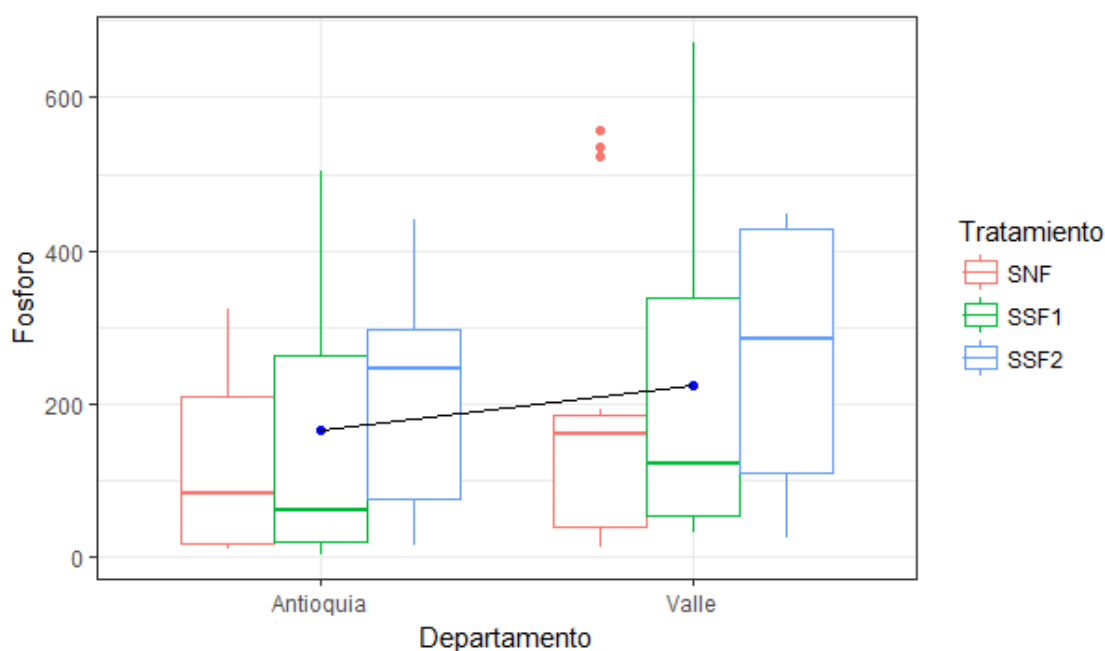


Gráfico 26. Box-plot Fosforo vs Tratamiento por departamento
Fuente: Elaboración propia

5.4.6 Potasio

Los resultados de la concentración de potasio en las fincas analizadas no siguen una distribución normal y por lo tanto se aplicó la prueba de Kruskal – Wallis, que con un $p\text{-value} = 3.675e-05$ se confirma que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Como se observa en la tabla 16 la aplicación de porcínaza en el suelo, tuvo como efecto una disminución del potasio en los dos niveles de profundidad analizados, disminuyendo con cada tratamiento.

	General		Antioquia		Valle del Cauca	
	NI	NII	NI	NII	NI	NII
SNF	2.49	1.57	3.32	1.87	1.67	1.26
SSF1	1.81	1.49	2.18	1.76	1.43	1.21
SSF2	1.16	1.04	1.40	0.99	0.91	1.09

Tabla 16. Media del Potasio por nivel y departamento
Fuente: Elaboración propia

Si bien el potasio se ve disminuido con la aplicación de la porcínaza, esta disminución es menor en el nivel de profundidad de 5 cm a 30 cm.

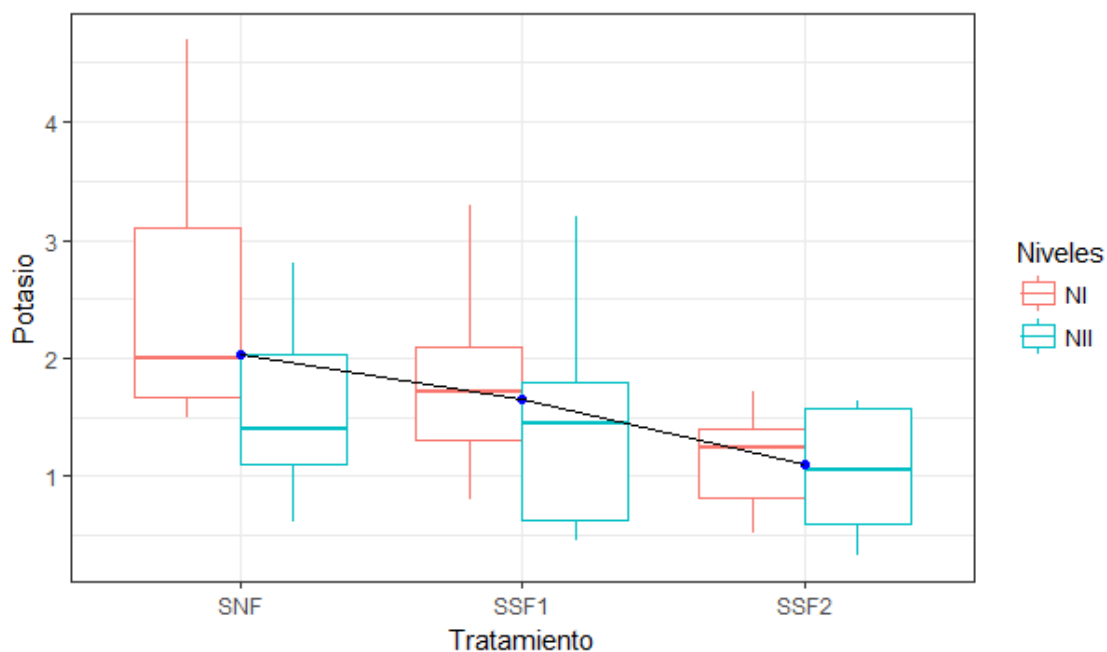


Gráfico 27. Box-plot Potasio vs Tratamiento por nivel de profundidad
Fuente: Elaboración propia

Frente al comportamiento de esta característica en los dos departamentos analizados, se observa un comportamiento similar, no obstante en el departamento del Valle del Cauca los valores de potasio son menores que en Antioquia y presenta valores menores en el primer nivel de profundidad.

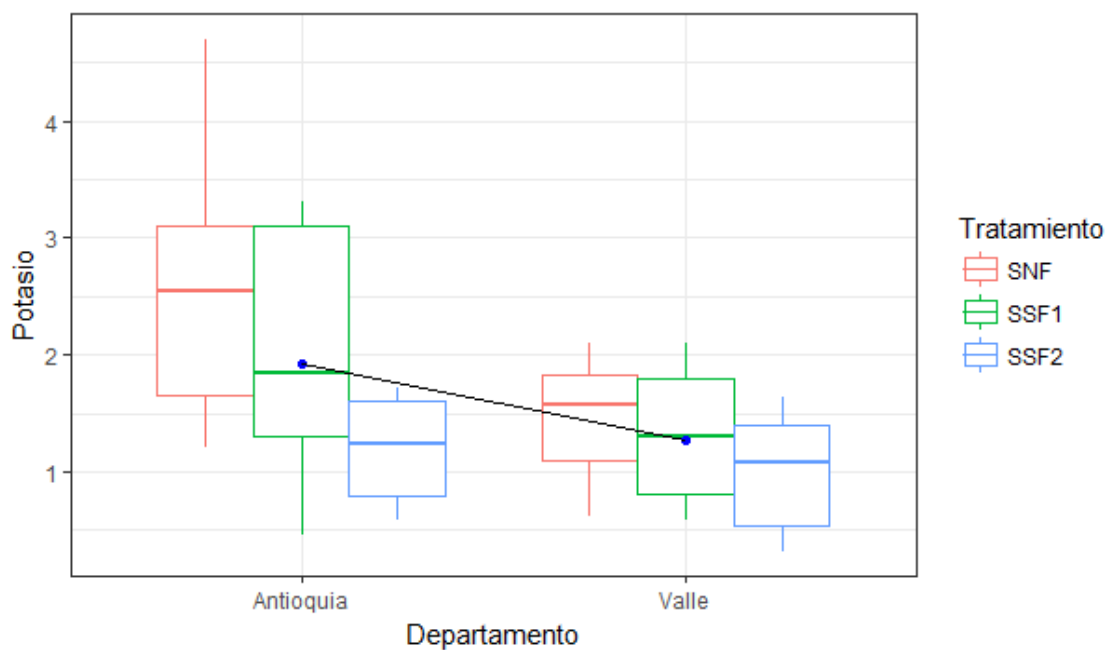


Gráfico 28. Box-plot Potasio vs Tratamiento por departamento
Fuente: Elaboración propia

5.4.7 Materia orgánica

Los resultados de la materia orgánica en las fincas analizadas no siguen una distribución normal y por lo tanto se aplicó la prueba de Kruskal – Wallis, que con un p-value = 0.003375 se confirma que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

	General		Antioquia		Valle del Cauca	
	NI	NII	NI	NII	NI	NII
SNF	6.01	3.44	9.23	5.38	2.79	1.50
SSF1	6.67	5.67	9.53	8.46	3.81	2.88
SSF2	5.13	3.16	7.11	4.07	3.16	2.25

Tabla 17. Media del Materia orgánica por nivel y departamento

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 17 la aplicación de porcinoza en el suelo, tuvo como efecto inicial un aumento leve que se redujo en el tratamiento tres, es decir a los 4 meses de la aplicación.

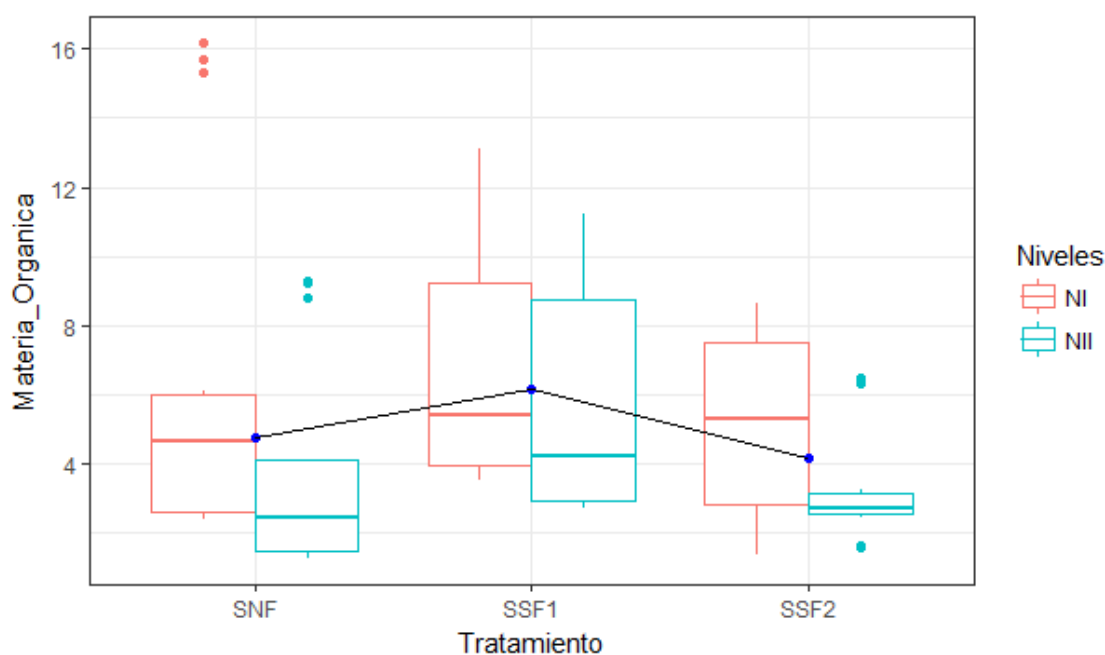


Gráfico 29. Box-plot Materia orgánica vs Tratamiento por nivel de profundidad

Fuente: Elaboración propia

Frente al comportamiento de esta característica en los dos departamentos analizados, se observa que en el Valle del Cauca. Se obtuvo un efecto positivo a diferencia de Antioquia donde en los dos tratamientos se presentó una reducción de la materia orgánica.

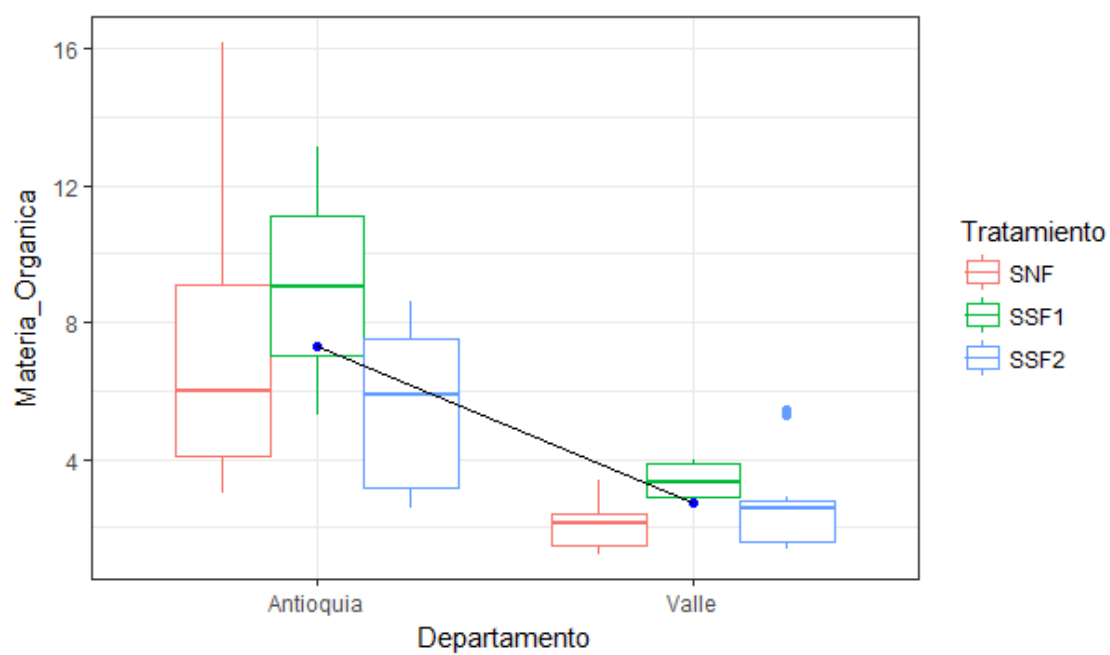


Gráfico 30. Box-plot Materia orgánica vs Tratamiento por departamento
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 6

6 Conclusiones y Recomendaciones

El diseño de experimentos factorial, resulto ser adecuado para el estudio de los efectos de la porcinaza sobre el suelo, dado que permite ver los resultados de la interacción de los factores planteados: tratamiento, finca, departamento y nivel de profundidad sobre las características físico químicas del suelo.

Gracias al diseño experimental utilizado en esta investigación se encontró que la fertilización con la porcinaza aporta cantidades importantes de nitrato y fosforo los cuales son macro nutrientes que ayudan en el crecimiento de las plantas. El aumento del nitrato fue de, en promedio, 11 ppm en el primer nivel y 6 ppm en el segundo nivel, mientras que en fosforo el aumento fue en promedio de 78 ppm en el primer nivel y 100 ppm en el segundo nivel.

Se logró evidenciar, que existe una reducción de la humedad, la densidad aparente y la materia organica tras la aplicación de la porcinaza. Frente a la humedad relativa la disminución fue, en promedio, de 15% en el primer nivel y 7% en el segundo nivel. Respecto de la materia orgánica y la densidad aparente la reducción fue mínima, en ningún caso supero la unidad.

Por otro lado, los efectos de la porcinaza claramente están sujetos a las características de las fincas, teniendo variaciones considerables. Por lo tanto, la aplicación de la porcinaza como fertilizante debe partir del análisis de suelo sobre el cual se establezca un plan de fertilización adecuado.

Aunque los efectos de la porcinaza se observaron en los dos niveles de profundidad analizados, si se vieron mejores efectos en el primer nivel, es decir de 0 a 5cm, lo que indicaría que puede recomendarse el uso para pasturas dado que estas requieren de nutrientes en este nivel.

Es importante, revisar los efectos en las demás características con el fin de identificar otros posibles efectos, y sobre esto iniciar a efectuar otro tipo de recomendaciones.

Finalmente, es necesario continuar con los análisis de suelo, para evaluar los efectos en un tiempo mayor, cuando todos los componentes sean absorbidos por el suelo.

Bibliografía

- [1] ACP - Asociación Colombiana de Porcicultores, CORNARE, CORANTIOQUIA (1996). Manejo de elementos de la producción porcina que pueden causar efectos ambientales. Edición: Comité Operativo del Convenio de Concertación para una Producción Más Limpia entre el sector Porcícola y Ambiental del Departamento de Antioquia. p. 155
- [2] Andrade, M. & Martinez, E.(2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. Universidad de la Rioja. Servicio de publicaciones.
- [3] Asociación Colombiana de Porcicultores. (2008). Carne De Cerdo Colombiana: Más Calidad, Más Sabor. Fondo Nacional de la Porcicultura. Bogotá D, C.
- [4] Badil, M. Castillo, M. Rodríguez, A. & Wong, P. Diseños de experimentos e investigación científica. Experimental designs and scientific research. Bogotá, D, C.
- [5] Badii, M. Guillen, L. Araiza, E. Cerna, J. Valenzuela, J. & Landeros, I. Métodos no paramétricos de uso común. Non parametric Methods of common usage. Internacional Journal of good conscience. Bogotá, D, C.
- [6] Bejarano, C. & Restrepo, J. (2002). Abonos Orgánicos, Fermentados Tipo Bocashi Caldos Minerales Y Biofertilizantes. Agricultura sostenible. Corporación Autónoma Regional Del Valle Del Cauca Cvc. Subdirección de Patrimonio Ambiental. Programa de Agricultura Sostenible y Biocomercio. Bogotá D, C.
- [7] Borge, M. (2012). Agricultura Orgánica: Solución de la sostenibilidad. Hacia la sostenibilidad. Towards sustainability. Gegesti. No. 296
- [8] Borrás Sandoval, L. M., Iglesias, A. E., & Rodríguez Molano, C. E. (2014). Fermentación en Estado Sólido (FES), una alternativa biotecnológica para la producción de alimentos no convencionales en cerdos. Cuba
- [9] Buduba, C. (2004). Muestreos de suelos. Criterios básicos. Patogenia Forestal. Laboratorios de suelos CIEFAP – UNPSJB.
- [10] Correa Herrera, M., Muñetón Torres, S., Orozco Mejía, J. P., Puerta Cadavid, J., & Davidson, Z. D. (2011). Evaluación del manejo que se le da a las excretas porcinas en la Hacienda La Montaña. Antioquia, Colombia. Consultado en https://marthanellymesag.weebly.com/uploads/6/5/6/5/6565796/excretas_porcinas.pdf
- [11] Estrada, J., Aranda, E. M., Pichard, G., & Henao, F. J. (2013). Ensilaje de caña de azúcar integral enriquecido con porcínaza fresca. Revista Orinoquía. 17, 38-49.
- [12] FAO. (2003). ¿Qué es la agricultura orgánica?. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/007/ad818s/ad818s03.htm#TopOfPage>
- [13] Fisher, R. (1935). The Design Of Experiments. First edition (1935). New York.

- [14] Fondo Nacional de la Porcicultura (2016). Beneficio porcino nacional y por departamentos (Cabezas). Datos suministrados por el área económica.
- [15] ICA. (2015). Cartilla practica para la elaboración de abono orgánico compostado en la producción ecológica. Instituto Colombiano Agropecuario. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR. Bogotá D, C.
- [16] ICA. (2016). Censo Nacional pecuario. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Bogotá D, C.
- [17] ICA. (2017). Censo Poblacion de Porcinos Colombia 2017. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá D, C.
- [18] Jaramillo, D. (2004). El recurso suelo y la competitividad del sector Agrario colombiano. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- [19] González, L. (2012). Uso estratégico de la porcinaza en la biofertilización en pastos. Universidad de Caldas.
- [20] MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE). Bogotá. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012.
- [21] Moser, M. A. 1995 - A. Diseño de un sistema adecuado de manejo de excretas porcinas. Conferencia presentada en el: Seminario Internacional Alternativas en Producción y Comercialización para la Porcicultura. Agroexpo 95. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Asociación Colombiana de Porcicultores. Bogotá. Grabación, Sin pié de imprenta.
- [22] Osorio NW, (2012). Uso de la porquinaza como fertilizante, 57-99 pp, In: Asociación Colombiana de Porcicultores, CORNARE, CORANTIOQUIA (ed) Manejo de elementos de la producción que pueden causar efectos ambientales. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellin, 156 p. (ISBN 958-8008-23-9).
- [23] Pacheco, A., Cabrera, B., Steinich, B., Frias, J., Coronado, V. y Vasquez, J. (2002). Efecto de la aplicación agrícola de la excreta porcina en la calidad de agua subterránea. Ingeniería 63: 7-17.
- [24] Parra Parra, C., Martinez Sanchez, J., & Rincon, J. (2007). Utilización de porquinaza en dos niveles de inclusión, como suplemento alimenticio en la etapa de finalización en el lperiodod de engorde en ovins. Sogamoso, Colombia.
- [25] PorkColombia, (2016). Análisis de coyuntura del sector porcicultor año 2016 (PorkColombia, 2016).
- [26] Ramon, G. (2000). Diseños experimentales. Seminario investigativo VI. Universidad de Antioquia (Colombia). Bogotá, D, C.

- [27] Riccioppo, R. (2011). Agroquímicos: Sus efectos en la población -Medidas de prevención. Colegio de médicos de la provincia de Buenos Aires. Distrito VII Pehajo.
- [28] Rojas G., & Ojeda A.(2002). Caracterización de los residuos sólidos de efluentes de granjas porcinas y su utilización en vacunos de ceba en confinamiento. Revista Científica Luz, XII(4), 265 - 270.
- [29] SAC. (2015). Balance preliminar de 2015 y perspectivas de 2016. Sociedad de Agricultores de Colombia. Disponible en: <http://www.sac.org.co/es/estudios-economicos/balance-sector-agropecuario-colombiano/290-balance-y-perspectivas-del-sector-agropecuario-2012-2013.html>. 21 de mayo 2017.
- [30] Universidad Industrial de Santander. (2006). Biodigestor de doble proposito-producción e investigación para residuos de granja porcícola . Ion, 1-6.
- [31] Valencia, E. Artunduaga, w. & Gordillo, L. Recuperación parcial del concentrado de la porquinaza, una alternativa ambiental y económica. Facultad de ingeniería. Universidad Surcolombiana. Bogotá D, C.
- [32] Villarino, A. (2004). Carne de Cerdo & Alimentación Saludable. Universidad Complutense de Madrid España. Confecarne (Madrid).
- [33] Wayne, D. (2004). Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Ed. 4. Georgia State University.